

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería en Construcción**

Manual para el mantenimiento de puentes en Costa Rica


Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Thomas Franz Winiker Pérez

Cartago, Junio 2019.

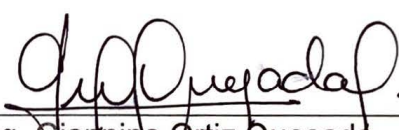
## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Giannina Ortiz Quesada, Ing. Hugo Navarro Serrano, Ing. Ángel Navarro Mora, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



---

Ing. Gustavo Rojas Moya.  
Director



---

Ing. Giannina Ortiz Quesada.  
Profesora Guía



---

Ing. Hugo Navarro Serrano.  
Profesor Lector



---

Ing. Ángel Navarro Mora.  
Profesor Observador

# **Manual para el mantenimiento de puentes en Costa Rica**

# Abstract

The present project consists of a bridge maintenance manual proposal, considering the most common damages identified in the Costa Rican bridge inventory.

First, information was gathered about bridge components, the current bridge management in Costa Rica was investigated and the national bridge inventory was made known. Also, the structure of a bridge conservation program and its benefits to the country were investigated.

The second objective consisted in determining the most common damages of the national bridge inventory. To achieve it, the 83 damages of the Bridge Inspection Manual were extracted, compared and it was found that different bridge elements can have the same damages. So it was discovered that there are only 43 different damages.

The Bridge Structures Evaluation Program (PEEP) from TEC, has carried out visual inspections of 1669 bridges on national routes, that represents 100% of the bridges from the national inventory. Thanks to this information, it was possible to determine the repetitiveness of the 43 damages, so the most common 16 were tabulated. In addition, graphs were made to analyze the condition of bridge elements.

The aim of the third objective was to investigate the possible causes and consequences generated by the 16 typical damages on the Costa Rican bridges.

The fourth objective was based on proposing routine and periodic maintenance procedures for the 16 most common damages. In this way, the Manual for the Maintenance of Bridges was developed.

It is expected that this manual will be very useful for engineers in charge of bridge maintenance activities, so that they can execute maintenance procedures in the best way possible, following good engineering practices.

Keywords: Bridge, Maintenance, Manual, Preservation, Conservation, PEEP

# Resumen

El presente proyecto consiste en proponer un manual para el mantenimiento de los puentes en Costa Rica, considerando los daños más comunes identificados en el inventario nacional de puentes.

Para la realización de este proyecto, se recopiló información acerca de los componentes de un puente, se investigó la gestión actual de los puentes en Costa Rica y se dio a conocer cómo está compuesto el inventario nacional de puentes. Además, se investigó cómo debe estar estructurado un programa de conservación de puentes y los beneficios que traería para el país.

El segundo objetivo consistió en determinar los daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes. Para lograrlo, se extrajeron los 83 daños presentes en el Manual de Inspección de Puentes, se compararon y se encontró que diferentes elementos pueden tener los mismos daños, de esta forma, se hallaron 43 daños diferentes.

El Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del TEC ha llevado a cabo inspecciones visuales del 100 % de los puentes en rutas nacionales (1669 puentes, los cuales conforman el inventario). Gracias a esta información, se logró determinar la repetitividad de los 43 daños y se tabularon los 16 más comunes. Además, se realizaron gráficos para analizar la condición de los elementos de los puentes.

El tercer objetivo consistió en investigar las posibles causas y consecuencias que generan los 16 daños típicos en los puentes de Costa Rica.

El cuarto objetivo se basó en proponer procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico para los 16 daños más comunes. De esta manera, se desarrolló el Manual para el Mantenimiento de Puentes.

Se espera que este manual sea de gran utilidad para que los ingenieros encargados del mantenimiento de puentes puedan ejecutar los procedimientos de la mejor manera, siguiendo buenas prácticas de ingeniería.

Palabras clave: Puente, Mantenimiento, Manual, Preservación, Conservación, PEEP.



# **Manual para el mantenimiento de puentes en Costa Rica**

THOMAS FRANZ WINIKER PÉREZ

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Julio del 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

PREFACIO .....	2
RESUMEN EJECUTIVO .....	3
INTRODUCCIÓN .....	7
MARCO TEÓRICO .....	8
METODOLOGÍA .....	20
RESULTADOS .....	26
ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	40
CONCLUSIONES .....	43
RECOMENDACIONES .....	44
REFERENCIAS .....	46
ANEXOS .....	48
APÉNDICES .....	50

# Prefacio

El proyecto presenta su justificación en la necesidad que tiene el país en implementar un programa de conservación de puentes. Los puentes representan el componente más importante y caro en la infraestructura vial, sin embargo, el país no cuenta con un plan de mantenimiento y los daños se reparan hasta que se encuentren en un estado crítico, resultando en un mayor gasto de recursos por parte del CONAVI.

El objetivo principal de este proyecto consiste en la publicación del Manual para el Mantenimiento de Puentes. Este manual busca apoyar a los ingenieros de las entidades encargadas de mantenimiento de puentes para que puedan ejecutar los procedimientos de forma adecuada, siguiendo buenas prácticas de ingeniería. Además, dada la importancia de los procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico, para un programa de conservación de puentes, es indispensable que el país cuente con manuales de este tipo para poder implementarlo.

Por último, el autor extiende un profundo agradecimiento a sus padres, por su apoyo incondicional para lograr culminar con éxito el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción en el Tecnológico de Costa Rica.

También, se le agradece a la ingeniera Giannina Ortiz, profesora de la Escuela de Ingeniería en Construcción del TEC, por su guía, apoyo y por la oportunidad de llevar a cabo el proyecto en el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP), del TEC. Además, se le agradece al PEEP y su personal por brindar toda la información necesaria para el desarrollo del proyecto y en especial al ingeniero Gerardo Páez, asistente técnico del PEEP, por su ayuda incondicional.

# Resumen ejecutivo

En el presente proyecto se desarrolló un manual para el mantenimiento de los puentes en Costa Rica para intervenir los 16 daños más comunes identificados en el inventario nacional de puentes.

Para la realización de este proyecto, inicialmente se recopiló información acerca de los componentes de un puente y se investigó la gestión actual de los puentes en Costa Rica. Se encontró que los países que cuentan con una buena gestión de puentes han desarrollado programas informáticos que les permite homogenizar, registrar y procesar la información recopilada por los profesionales en las inspecciones de campo, de esta forma, con base en la información registrada en el sistema, el programa logra apoyar la toma de decisiones con respecto al uso óptimo de los recursos para el mantenimiento y rehabilitación de los puentes (Castillo Barahona & Murillo Madrigal, 2014).

Es por esta razón que el país cuenta, desde el año 2007, con su propio programa informático para la gestión de puentes denominado Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP) (Castillo Barahona & Murillo Madrigal, 2014).

En el año 2010, nace el proyecto eBridge en el Tecnológico de Costa Rica, cuyo objetivo es la predicción remota de falla en puentes (Ortiz, 2012). Según el Tecnológico de Costa Rica (2013), el CONAVI y el TEC firman un contrato interadministrativo con el objetivo de implementar el SAEP y levantar un inventario de puentes para mejorar la infraestructura de puentes del país. De acuerdo con el Tecnológico de Costa Rica (2013), las actividades que se contemplan en el contrato son las inspecciones de inventario y visual de daños, inspecciones de emergencia, inspecciones detalladas, pruebas de carga y monitoreo y la capacitación. De esta manera, es que el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP), el cual es parte del proyecto eBridge, inicia a partir

del 2014 a levantar un inventario y es hasta ese momento que se empieza a alimentar el SAEP mediante la inspección de los puentes de las rutas nacionales.

En el 2018, el PEEP concluye con el inventario de puentes en rutas nacionales con un total de 1669 puentes inspeccionados (Umaña, 2019). Este inventario incluye ubicación, dimensiones, planos, fotografías, esquema de daños, evaluación visual de daños y una base histórica de inspección (Grupo de investigación eBridge, 2019).

Ahora que el inventario de rutas nacionales se encuentra completo y disponible en el SAEP, el Grupo de investigación eBridge (2019) afirma que los datos se deben estar actualizando de forma permanente, por lo que se deben definir periodos de inspección para los puentes.

A partir de la información disponible (gracias a las inspecciones visuales de campo) en el PEEP, se construyeron gráficos para conocer el inventario y el estado de los puentes en Costa Rica. Específicamente, permitió conocer la cantidad de puentes por provincia, el material (dos terceras partes son de concreto reforzado), longitud, condición (la mayoría se encuentra en condición regular y una tercera parte en condición deficiente, es decir, necesitan una intervención a corto plazo), entre otros.

También, se identificaron las funciones que debe tener un software de monitoreo de puentes (ver Figura 9), y se encontraron las que el SAEP debe implementar para encontrarse en la vanguardia de los softwares de monitoreo de puentes a nivel mundial (ver Figura 10).

Se investigó en manuales de mantenimiento de puentes, principalmente del inventario estadounidense de puentes (National Bridge Inventory), acerca de cómo debe estar estructurado un programa de conservación de puentes, los atributos mínimos y aspectos que

debe tomar en cuenta. Se encontró que un programa de conservación de puentes busca extender al máximo la vida útil de un puente y sus elementos, mediante mantenimiento rutinario y periódico y retrasar la necesidad de intervenirlos con procedimientos de rehabilitación o reconstrucción.

A pesar de que implementar un programa de conservación de puentes implica un costo constante para llevar a cabo las actividades de mantenimiento, el costo anual a lo largo de la vida útil del puente se disminuye, debido a que se aumenta la vida de servicio y las intervenciones son menos complejas. Al implementar un programa de este tipo, el CONAVI podría mejorar la manera en que se invierten los recursos públicos.

Dada la importancia de los procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico, para implementar un programa de conservación de puentes, y debido a las condiciones deplorables en que se encuentran los puentes del país, es que se desarrolló un manual para el mantenimiento de los puentes.

El segundo objetivo consistió en determinar los daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes. Para lograrlo, se extrajeron los 83 daños presentes en el Manual de Inspección de Puentes, se compararon y se encontró que diferentes elementos pueden tener los mismos daños, de esta forma, se hallaron 43 daños diferentes.

En el PEEP, se encuentra tabulada de forma gráfica la información de los 1669 informes de inspección visual, que representan el 100 % de los puentes en rutas nacionales (actualmente, el inventario nacional de puentes está compuesto por esta información), gracias a estos datos se logró determinar la repetitividad de los 43 daños diferentes y se tabularon los 16 daños más comunes que presentaron más de 350 repeticiones (ver Cuadro 4).

Además, gracias a esta información, se realizaron gráficos para conocer y analizar la condición general de los elementos de los puentes. Como causa de este análisis, se encontró que las prácticas inadecuadas de mantenimiento son sumamente comunes, por ejemplo, de los 822 puentes que tienen una superficie de rodamiento pavimentada, hay 604 (73,48 %) que cuentan con sobrecapas de pavimento. Estas sobrecapas se utilizan incorrectamente para mejorar la superficie de rodamiento, para sellar agujeros en la losa sin

tomar en cuenta que no es un material impermeable por lo que no se detiene la corrosión en el acero de refuerzo (tampoco se remueve previamente la corrosión existente), además, se colocan inadecuadamente porque no se remueve la capa anterior y se obstruyen las juntas y drenajes, lo que impide un funcionamiento adecuado de las juntas y en el caso de los drenajes, provoca que bajo condiciones lluviosas, el agua se empoce en la superficie de rodamiento lo que significa un peligro para los conductores. Añadido a esto, las sobrecapas aumentan la carga muerta del puente y, por lo tanto, se disminuye su capacidad de soportar carga viva.

Adherido a esto, se encontró que:

1. El daño peor evaluado en los elementos de acero es la oxidación. Entre un 43 % y 46 % de los puentes que están compuestos por vigas principales y/o sistema de arriostramiento, tienen un 50 % o más de oxidación en la superficie de estos elementos. Esto se da por la falta de mantenimiento.
2. Hay 262 (40,56 %) barandas de concreto que cuentan con acero de refuerzo expuesto.
3. Un 72,09 % de las juntas existentes se encuentran en condiciones deficientes. Existen 664 (54,38 %) que se encuentran en condición deficiente porque están obstruidas por una sobrecapa de pavimento. Añadido a esto, hay 620 (51,07 %) juntas que se encuentran en condición deficiente con respecto a la filtración de agua, lo cual significa que se han observado filtraciones de agua en más de un 50 % del muro y la viga cabecal. Las juntas son los elementos peor evaluados de los accesorios.
4. Tan solo 114 (23,85 %) puentes de acero tienen la pintura en buena condición.
5. Hay 481 (33,9 %) bastiones que presentan condiciones deficientes de socavación, es decir, se logra observar la fundación debido a este daño y es por esto el elemento peor evaluado de la subestructura.
6. El componente (accesorios, subestructura o superestructura) del puente en peores condiciones son los accesorios.
7. Los apoyos son los elementos mejor evaluados de la subestructura, sin embargo, gracias a los comentarios hechos por los ingenieros inspectores de puentes en los informes de inspección visual de daños, se sabe que la condición actual de los apoyos es totalmente distinta. Esto se da, a causa de que

el Manual de Inspección de Puentes del MOPT no permite una evaluación adecuada de los apoyos.

El tercer objetivo consistió en investigar las posibles causas y consecuencias que generan los 16 daños típicos en los puentes de Costa Rica. Para lograr este objetivo, se consultaron diferentes fuentes y se llevó a cabo una entrevista a los ingenieros inspectores de puentes del PEEP para enriquecer el análisis (ver Cuadro 5).

El cuarto objetivo se basó en proponer procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico para los 16 daños más comunes. De esta manera, se desarrolló el Manual para el Mantenimiento de Puentes (ver Apéndice 3).

Este manual está compuesto por tres capítulos. El primero abarca temas generales, tales como: introducción, objetivo, alcance del manual, componentes generales de un puente y las abreviaciones utilizadas.

El segundo capítulo comenta el estudio que se llevó a cabo para determinar la repetitividad de los daños que afectan los puentes del inventario nacional de puentes. Además, se mencionan cuáles son los 16 daños más comunes que afectan los puentes nacionales.

Por último, el tercer capítulo abarca procedimientos de mantenimiento para intervenir los 16 daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes. Añadido a esto, cada daño presenta una explicación de sus posibles causas y consecuencias.

Para cada procedimiento, se definió un objetivo, criterio, notas generales, especificaciones de los materiales y herramientas, además de que se menciona dónde se encuentran las especificaciones (referencias bibliográficas) de cada procedimiento.

Es importante mencionar que el criterio hace una referencia directa al Manual de Inspección de Puentes del MOPT y menciona para qué grado, del daño respectivo, el procedimiento es aplicable. Por ejemplo, para el procedimiento D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa, se menciona que es aplicable para un grado de acero expuesto de 2 o mayor y que en caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascamiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-V1 Reparación del descascamiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.

Finalmente, se estableció como opcional un quinto objetivo, el cual consistía en investigar empresas constructoras que pudieran ejecutar los procedimientos de mantenimiento propuestos en el Manual para el Mantenimiento de Puentes. Sin embargo, debido a la complejidad de los 25 procedimientos que se incluyeron en el manual, no se contó con suficiente tiempo para abarcar este objetivo.

Se espera que el Manual para el Mantenimiento de Puentes sea de gran utilidad para que los ingenieros de las entidades encargadas de mantenimiento de puentes puedan ejecutar los procedimientos de la mejor manera, siguiendo buenas prácticas de ingeniería.

Gracias al desarrollo de este proyecto de graduación, se dejan las siguientes recomendaciones al Manual de Inspección de Puentes del MOPT, para mejorar la gestión de puentes del país.

1. Agregar daños para calificar de forma adecuada los apoyos, esto porque sus daños más comunes no están siendo evaluados (esto se sabe gracias a los comentarios hechos por los ingenieros inspectores de puentes en los informes de inspección visual de daños). Lo que da como resultado que en este momento, los apoyos se encuentran evaluados erróneamente como los elementos en mejores condiciones de la subestructura.
2. Cambiar el grado 1 de la calificación de acero expuesto de “Descascamiento en la superficie de concreto” a “No hay acero de refuerzo expuesto”. Esto debido a que es el único daño que no tiene una evaluación, en caso de que no exista el daño, es decir, aunque el elemento se encuentre en buen estado, se debe evaluar como que existe descascamiento en la superficie de concreto y debido a esta situación, se encuentra como el daño más repetitivo.
3. Existen dos tablas de oxidación, una para barandas y viga principal de acero (permite mayor oxidación) y otra para el sistema de arriostramiento. Se recomienda evaluar la viga principal de acero junto con el sistema de arriostramiento porque al ser un elemento estructural se debe permitir un grado menor de oxidación.

Además, se incluyen las siguientes recomendaciones para el PEEP y el CONAVI:

1. Se recomienda modificar el SAEP para que pueda registrar los cambios mencionados

anteriormente. Además, que se modifique para poder llevar el registro y estadística acerca de trabajos de mantenimiento o rehabilitación, lo cual es fundamental para poder adoptar un programa de conservación de puentes.

2. Se recomienda que el PEEP en las inspecciones visuales de campo, se anote el tipo de junta y mida el ancho de la abertura de cada junta para facilitar la planificación de las actividades de mantenimiento de los puentes. Esta información es importante para conocer el tipo de junta que se debe instalar, además, permite conocer si la junta instalada actualmente es la correcta de acuerdo con el ancho de la abertura. Por ejemplo, según el Manual de Inspección de Puentes, es incorrecto instalar una junta de placas de acero deslizante en una abertura menor a 101 mm (4 pulgadas).
3. Se recomienda que el país adopte un programa de conservación de puentes. A pesar de que esto, implica un costo constante para llevar a cabo las actividades de mantenimiento, el costo anual a lo largo de la vida útil del puente se disminuye, debido a que se aumenta la vida de servicio y las intervenciones son menos complejas.
4. Se recomienda actualizar el SAEP para tomar en cuenta los criterios propuestos por (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018), tales como: un modelo de fiabilidad, inteligencia de negocios, aplicación para dispositivos móviles, gestión del presupuesto, entre otros. De esta forma, el SAEP lograría encontrarse a nivel mundial entre los sistemas más completos para el monitoreo de puentes.
5. Se recomienda concientizar a las entidades encargadas del mantenimiento de los puentes acerca de la correcta forma de llevar a cabo dicho mantenimiento, por ejemplo, es incorrecto colocar sobrecapas de pavimento, porque aumenta la carga muerta y obstruye las juntas y drenajes. Es importante recalcar esto, porque se encuentra que las prácticas inadecuadas de mantenimiento son sumamente comunes. De los puentes que cuentan con una superficie de rodamiento pavimentada, hay un 73,97 % que cuentan con sobrecapas de pavimento.
6. Se recomienda seguir trabajando en el Manual de Mantenimiento de Puentes propuesto, para que el país pueda llegar a tener un manual que

incluya procedimientos para intervenir la totalidad de los daños existentes.

# Introducción

El presente proyecto realizado para la obtención del grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción fue desarrollado en el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP). Este programa es el encargado de mantener actualizado el inventario de puentes del país, mediante inspecciones visuales de campo, para que el CONAVI pueda mejorar su gestión y la inversión de recursos públicos.

Este proyecto consiste en el desarrollo de un manual para el mantenimiento de los puentes en Costa Rica para intervenir los 16 daños más comunes identificados en el inventario nacional de puentes.

La justificación del presente proyecto se encuentra en la necesidad que tiene el país en implementar un programa de conservación de puentes. Estas estructuras representan el componente más importante y caro en la infraestructura vial, sin embargo, el país no cuenta con un plan de mantenimiento y los daños se reparan hasta que se encuentren en un estado crítico, resultando en un mayor gasto de recursos por parte del CONAVI. Además, dada la importancia de los procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico, para un programa de conservación de puentes, es indispensable que el país cuente con manuales de este tipo para poder implementarlo.

Para lograr el desarrollo de este manual, se inició con una investigación para determinar los componentes de un puente, conocer la gestión actual de los puentes en Costa Rica y los beneficios que puede traer al país la implementación de un programa de conservación de puentes.

Posteriormente, gracias a la información recolectada por el PEEP mediante las inspecciones de campo, se determinaron los daños más repetitivos presente en el inventario y se analizaron sus posibles causas y consecuencias en los puentes. Además, se realizaron gráficos para analizar condición general

de los elementos en peor estado junto al daño en peores condiciones del elemento.

Por último, se investigaron manuales internacionales de mantenimiento de puentes y sus procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico se adaptaron a las normativas nacionales, mediante el MCV-2015, CR-2010 y el CSCR-10, principalmente.

Se logró el desarrollo del Manual para el Mantenimiento de Puentes y se espera que sea de gran utilidad para que los ingenieros de las entidades encargadas de mantenimiento de puentes puedan ejecutar los procedimientos de la mejor manera, siguiendo buenas prácticas de ingeniería.



# Marco teórico

Previo a la redacción de un manual de mantenimiento de puentes, se deben conocer claramente los conceptos de puente, tipos y sus componentes. De esta forma, es posible para el lector comprender los procedimientos de mantenimiento que posteriormente se propongan.

Según el MOPT (2007), un puente es una “estructura construida para salvar un cauce o extensión de agua como una quebrada, río, canal, lago, bahía, etc.” (p. 3).

## Componentes de un puente

Los componentes de un puente, según el MOPT (2007), son:

**Accesorios:** son los elementos que no poseen una función estructural, sin embargo, son fundamentales para el funcionamiento adecuado del puente. Estos elementos son la superficie de rodamiento, juntas de expansión y barandas.

**Superestructura:** la superestructura está compuesta por la losa o sistema de piso, elementos principales, tales como las vigas, cerchas y arco, y los elementos secundarios, como los diafragmas y sistemas de arriostramiento.

**Subestructura:** la subestructura está compuesta por las pilas, pilotes, bastiones y apoyos.

**Accesos de aproximación:** los accesos de aproximación comprenden la losa de aproximación y los rellenos con sus respectivas protecciones.

## Accesorios

**Superficie de rodamiento:** según el MOPT (2007), una superficie de rodamiento es una capa de desgaste, ya sea de concreto o asfalto, que se coloca sobre la losa o el sistema de piso para

protegerlo del clima o de la abrasión producida por el flujo vehicular. Estos espesores varían entre 2,54 cm y 5 cm, sin embargo, en muchos casos este espesor es mayor debido a una inapropiada técnica de mantenimiento de carreteras (MOPT, 2007).

El MOPT (2007) recomienda que todas las losas de concreto deben tener una superficie de rodamiento de asfalto de por lo menos 5 cm, inclusive si estos cuentan con una cubierta de concreto. Antes de colocar la capa de asfalto, (MOPT, 2007) también recomienda instalar una membrana impermeable, ya que de esta forma se evita el deterioro de la losa de concreto por el tráfico pesado y las condiciones climáticas severas.

**Baranda:** de acuerdo con el MOPT (2007), una baranda es un sistema de contención longitudinal que puede ser de concreto o de acero. Se fija al sistema de piso y su función es evitar que los usuarios, vehículos, peatones o ciclistas caigan al vacío.

**Juntas de expansión:** según el MOPT (2007), una junta de expansión es un elemento divisorio de la losa y se colocan en los extremos de cada tipo de superestructura. Permiten su movimiento, ya sea por traslación o rotación, y se garantiza que la superestructura pueda contraerse o expandirse debido a los efectos de la temperatura y sismo. Los tipos más comunes de juntas de expansión en Costa Rica, de acuerdo con el MOPT (2007) son:

**Juntas abiertas:** es una abertura libre de aproximadamente media pulgada (12,7 mm) entre losas, losa-bastión o losa-losa de aproximación y que comúnmente cuentan con angulares de acero para evitar que se desprenda el concreto de los bordes, debido al paso repetitivo de los vehículos.

**Juntas selladas rellenas:** típicamente se aplican en puentes cortos que tengan un desplazamiento menor a 38,1 mm (1 ½ pulgada), son similares a las juntas abiertas, pero cuentan con un “water stop” para impermeabilizar la junta y

se protege con un relleno premoldeado que se sella con hule chorreado.

Juntas selladas con sellos comprimidos de neopreno: se coloca un sello comprimido de neopreno en una junta abierta y la elasticidad del material impermeabiliza la junta y permite el movimiento de la losa. Comúnmente, se colocan en puentes cuyos desplazamientos se encuentren en un rango de 12,7 mm y 63,5 mm (1/2 a 2 ½ pulgada).

Juntas de placas de acero deslizante: se pueden colocar en puentes que tengan desplazamientos mayores a 101 mm (4 pulgadas) y se refiere a una placa de acero que se ancla a solo un extremo de la junta lo que permite el movimiento de la losa.

Juntas de placas dentadas: se utilizan en puentes que tengan desplazamientos menores a 610 mm (24 pulgadas), y consiste en dos placas dentadas de acero que se entrelazan dejando un espacio entre sí para permitir el desplazamiento. Debajo de estas, se instala un drenaje con material elastomérico para garantizar la impermeabilización de la junta.

## Superestructura

**Sistema de piso o losa:** según el MOPT (2007), el sistema de piso o losa es la plataforma por la cual circula la carga viva vehicular y su función principal es transferir dichas cargas a los elementos principales, los cuales pueden ser vigas, arcos, cerchas, etc.

**Elementos principales:** de acuerdo con el MOPT (2007), la función principal de los elementos principales “es soportar las cargas transferidas a ellos por el sistema de piso y además transmitir los esfuerzos resultantes hacia la subestructura a través de los apoyos” (p. 6).

**Elementos secundarios:** el MOPT (2007) expresa que los elementos secundarios son los encargados de distribuir apropiadamente las cargas y generar mayor rigidez lateral y torsional, de forma que se restrinjan las deformaciones de los elementos principales para que trabajen más eficientes.

Según el MOPT (2007), los 4 tipos más comunes de superestructura en Costa Rica son:

Superestructura de vigas: está compuesta por vigas principales que pueden tener dos (viga simple) o más apoyos (viga continua) y que tienen juntas de expansión en sus extremos. En el caso

de un marco rígido, los extremos se encuentran empotrados a las columnas, por lo que no existen las juntas.

Superestructura de cercha: está compuesta por dos armaduras que se unen por medio de un sistema de piso, diafragmas transversales y sistemas de arriostramiento superior e inferior. Pueden ser de paso inferior, paso superior o de media altura.

Superestructura de arco: está compuesta por vigas o armaduras con forma de arco que también se encuentran unidas por el sistema de piso, diafragmas transversales y sistemas de arriostramiento. Pueden ser de paso superior o inferior.

Superestructuras suspendidas: son sistemas de pisos suspendidos de una o varias pilas centrales mediante cables comúnmente de acero. Pueden ser colgantes o atirantadas.

## Subestructura

**Apoyos:** de acuerdo con el MOPT (2007), los apoyos son sistemas mecánicos cuya función principal es transmitir las cargas verticales de la superestructura a la subestructura. Además, para que la estructura de paso tenga un adecuado funcionamiento, los apoyos deben garantizar los grados de libertad del diseño. De acuerdo con el MOPT (2007), existen tres tipos de apoyos.

Apoyo de expansión: este tipo de apoyo le permite a la estructura rotar o trasladarse en sentido longitudinal. Pueden ser de placa, neopreno, nódulo o balancín.

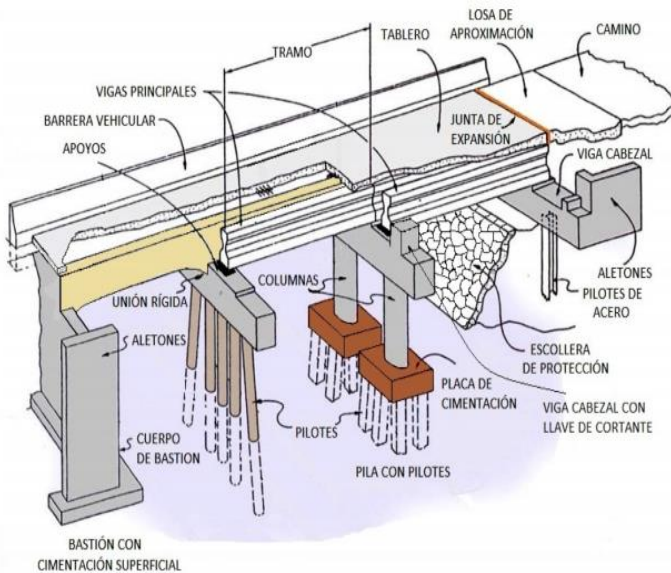
Apoyo fijo: este tipo de apoyo le restringe la traslación a la estructura y solamente le permite rotar.

Apoyo rígido o empotrado: este tipo de apoyo restringe todos los movimientos, ya sean de rotación o traslación.

**Bastiones:** Según el MOPT (2007), los bastiones sirven de apoyo en los extremos del puente, además, como están en contacto con los rellenos de aproximación tienen la función de absorber el empuje del suelo. Los bastiones pueden ser de concreto, acero, madera o mampostería y están compuestos por aletones, viga cabezal, cuerpo principal y la fundación. Además, pueden ser de varios tipos: de gravedad, voladizo, marco, muro con contrafuerte, cabezal sobre pilotes o de tierra armada.

**Pilas:** de acuerdo con el MOPT (2007), la función de las pilas es servir como apoyos intermedios a la superestructura. Generalmente, son construidas de concreto reforzado. Los componentes de una pila son la viga cabezal, cuerpo principal y la fundación, y pueden ser de varios tipos: muro, marco, columna sencilla o columna múltiple.

En la siguiente figura, se pueden observar algunos de los componentes de un puente, que fueron explicados anteriormente.



**Figura 1. Componentes de un puente.**

Fuente: Muñoz et al., (2015)

Ahora que el lector conoce los conceptos de puente, tipos y sus componentes, se introducirán el concepto de gestión de puentes y se explicará la situación actual de dicha gestión en Costa Rica.

## Gestión de puentes en Costa Rica

Según Castillo Barahona & Murillo Madrigal (2014), la gestión de puentes es un “proceso integral que une las actividades de inspección y evaluación de puentes con las necesidades de la comunidad y con las fuentes de financiación, para planificar, priorizar, financiar y procurar la operación, el mantenimiento, la rehabilitación,

mejora y sustitución de los activos de puentes existentes” (p. 1).

Los países que cuentan con una buena gestión de puentes han desarrollado programas informáticos que les permite homogenizar, registrar y procesar la información recopilada por los profesionales en las inspecciones de campo, de esta forma, con base en la información registrada en el sistema, el programa logra apoyar la toma de decisiones con respecto al uso óptimo de los recursos para el mantenimiento y rehabilitación de los puentes (Castillo Barahona & Murillo Madrigal, 2014).

Es por esta razón que el país cuenta, desde el año 2007, con su propio programa informático para la gestión de puentes denominado Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP) (Castillo Barahona & Murillo Madrigal, 2014). Este programa fue desarrollado por la Agencia Internacional de Cooperación de Japón (JICA) como resultado de un convenio de cooperación técnica solicitado por el Gobierno de Costa Rica.

Según Castillo Barahona & Murillo Madrigal (2014), el SAEP apoya en la toma de decisiones, ya que, una vez que se registra la información de inventario e inspección, este la procesa para generar tres salidas de información, las cuales son: evaluación de las deficiencias del puente, priorización de las reparaciones y la estimación de costos para dichas reparaciones.

En el año 2010, nace el proyecto eBridge en el Tecnológico de Costa Rica cuyo objetivo es la predicción remota de falla en puentes (Ortiz, 2012). Según el Tecnológico de Costa Rica (2013), en el año 2013, el CONAVI y el TEC firman un contrato interadministrativo con el objetivo de implementar el SAEP y levantar un inventario de puentes para mejorar la infraestructura de puentes del país. De acuerdo con el Tecnológico de Costa Rica (2013), las actividades que se contemplan en el contrato son las inspecciones de inventario y visual de daños, inspecciones de emergencia, inspecciones detalladas, pruebas de carga y monitoreo y la capacitación. De esta manera, es que el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP), el cual es parte del proyecto eBridge, inicia a partir del 2014 a levantar un inventario y es hasta este momento que se empieza a alimentar el SAEP mediante la inspección de los puentes de las rutas nacionales.

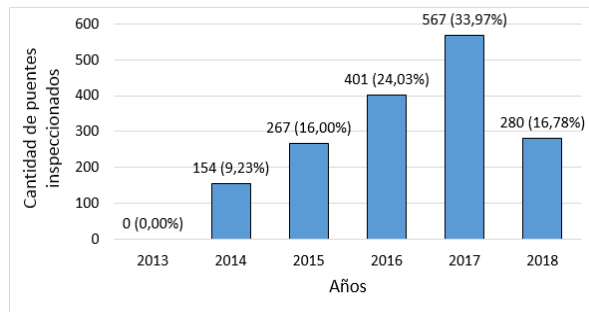
En el 2018, el PEEP concluye con el inventario de puentes en rutas nacionales con un

total de 1669 puentes inspeccionados (Umaña, 2019). Este inventario incluye, ubicación, dimensiones, planos, fotografías, esquema de daños, evaluación visual de daños y una base histórica de inspección (Grupo de investigación eBridge, 2019).

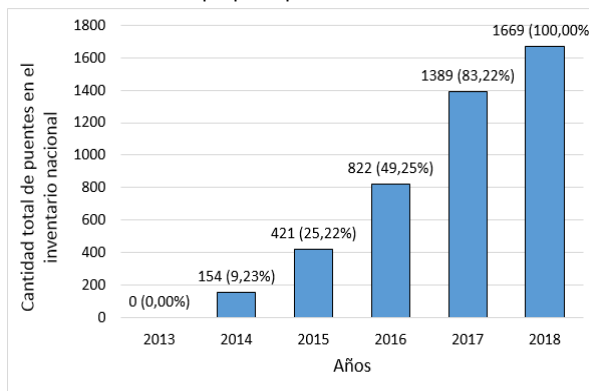
Ahora que el inventario de rutas nacionales se encuentra completo y disponible en el SAEP, el Grupo de investigación eBridge (2019) afirma que los datos se deben estar actualizando de forma permanente, por lo que se deben definir periodos de inspección para los puentes.

## Inventario nacional de puentes

En las siguientes figuras se puede observar el estado actual del inventario de puentes en rutas nacionales.



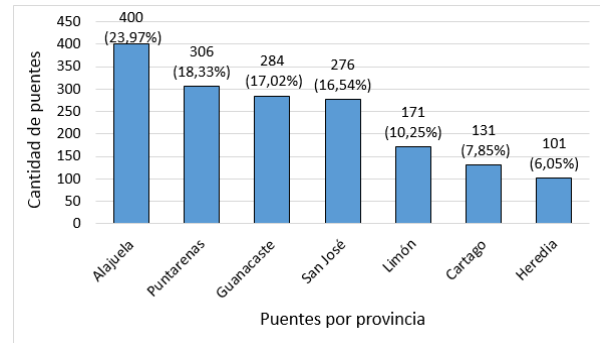
**Figura 2. Construcción del inventario nacional de puentes.**  
Fuente: elaboración propia a partir de datos del PEEP.



**Figura 3. Cantidad total de puentes que se inspeccionaron por año.**  
Fuente: elaboración propia a partir de datos del PEEP.

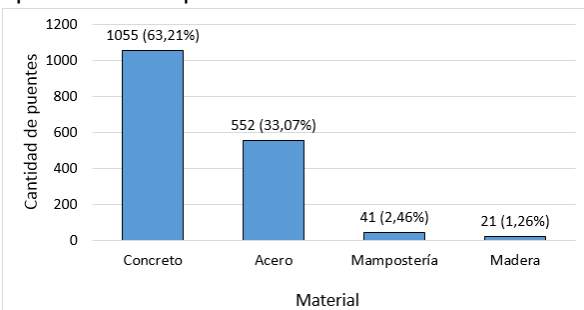
En la figura anterior, se puede observar la cantidad total de puentes que se inspeccionaron por año y gracias a los cuales se completó el

inventario de puentes disponible en el SAEP. Tal y como se mencionó, se observa que en el 2018 se concluyó la inspección de 1669 puentes.



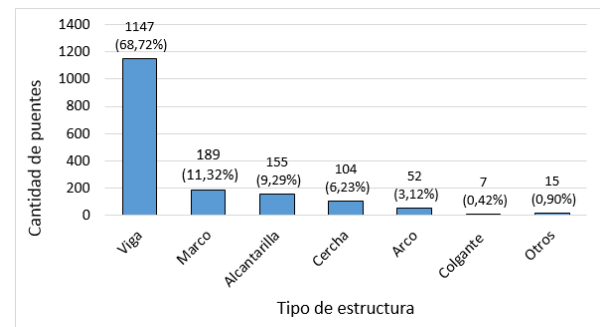
**Figura 4. Cantidad total de puentes por provincia.**  
Fuente: elaboración propia a partir de datos del PEEP.

En la figura anterior, se puede observar la cantidad de puentes que se encuentran por provincia, siendo Alajuela la provincia con más puentes en el país.



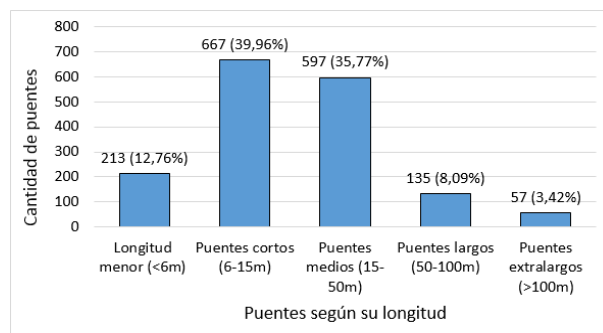
**Figura 5. Material de los puentes en el inventario.**  
Fuente: elaboración propia a partir de datos del PEEP.

En la figura anterior, se puede observar que la mayor cantidad de puentes con los que cuenta el país son de concreto y acero, con aproximadamente dos terceras partes de concreto y una tercera parte de acero.



**Figura 6. Puentes según su estructura.**  
Fuente: elaboración propia a partir de datos del PEEP.

En la figura anterior, se puede observar que la mayor cantidad de puentes cuentan con una estructura tipo viga.



**Figura 7. Puentes según su longitud.**

Fuente: elaboración propia a partir de datos del PEEP.

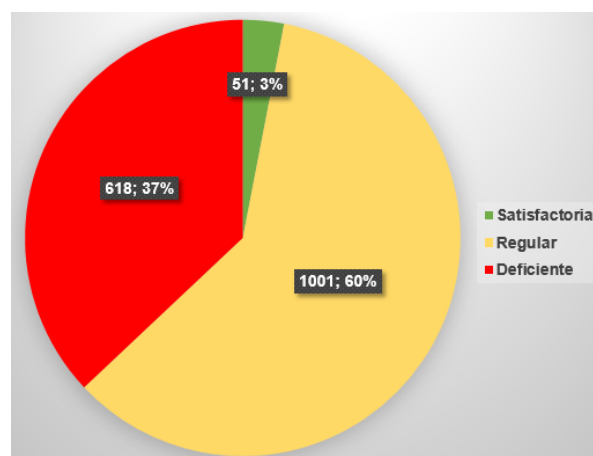
En la figura anterior, se puede observar que la mayor cantidad de puentes en el país son cortos o medios y cuentan con una longitud que va desde los 6 m hasta los 50 m.

## Condición de los puentes del inventario nacional

El SAEP define una condición general del puente y sus elementos mediante un Bridge Condition Index (BCI), el cual es un indicador que ayuda a identificar los puentes más deteriorados y que necesitan una intervención a corto plazo, además, ayuda a generar planes de mantenimiento o rehabilitación (Grupo de investigación eBridge, 2019).

Como se menciona anteriormente, gracias a las evaluaciones cualitativas de daños que se realizan de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en las inspecciones de campo llevadas a cabo por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes, el SAEP define un BCI en una escala de 1 a 5, gracias al cual, el puente y los elementos se pueden clasificar en una condición satisfactoria, regular o deficiente (Grupo de investigación eBridge, 2019). En el Anexo 1, se puede observar cómo se determina el BCI de un puente y sus elementos.

En la siguiente figura, se puede observar la condición actual de los daños en los puentes de Costa Rica.



**Figura 8. Distribución de los puentes de acuerdo con su BCI.**

Fuente: Grupo de investigación eBridge (2019).

Se puede observar que la mayoría (60 % que representan 1001 puentes del inventario) de los puentes en el país tienen una condición regular, sin embargo, lo preocupante es que aproximadamente una tercera parte necesita una intervención a corto plazo (condición deficiente).

## Software para el monitoreo de puentes

Como se ha mencionado y observado anteriormente, en el SAEP se registra una gran cantidad de información que es procesada para determinar la condición general de los puentes y priorizar las reparaciones de acuerdo con su nivel de daños, además, de realizar una estimación de los costos de dichas reparaciones. Sin embargo, siempre hay espacio para la mejora y según Garita, Ortiz, & Mora-Mora (2018), un software que sea utilizado para el monitoreo de puentes debe contar, por lo menos, con las funciones que se pueden observar en la siguiente figura.

Área	Criterio	Descripción
Modelo estructural	Administración de información técnica	Gestión de información básica y aspectos técnicos de puentes.
	Modelo de fiabilidad	Modelo probabilístico para estimar el comportamiento estructural de puentes.
	Inspección	Almacena la información de inspecciones realizadas.
Gestión de información	Inteligencia de negocios	Análisis de datos e información con base en técnicas de inteligencia de negocios.
	Red de comunicación	Canal de comunicación utilizado para transferir datos entre el registrador de datos y el encargado de realizar el análisis.
	Integración de información	Proporcionar un único punto de entrada a los usuarios para consultar la información estratégica de diferentes componentes.
	Aplicación para dispositivos móviles	Programa se accede directamente desde el celular o cualquier dispositivo móvil.
Información geográfica	Riesgo ambiental	Análisis ambiental, para prevención o en caso de que un daño ambiental afecte la estructura del puente.
	Sistema de información geográfico	Proporcionar acceso a la información geoespacial necesaria para evaluar adecuadamente aspectos ambientales.
Administración de mantenimiento	Priorización	Priorizar las actividades de mantenimiento en base a la condición de las estructuras.
	Proyección	Proyectar a varios años escenarios de reparación o remplazo.
	Predicción	Predecir fallas y vida útil de los puentes.
	Gestión de presupuesto	Incorporar restricciones de presupuesto para priorizar las actividades de mantenimiento con base en fondos disponibles.
	Gestión de costos	Modelo que permite cuantificar los costos de inspección, mantenimiento, reparación fallas, entre otros.
	Generación de reportes	Genera un reporte en documento PDF, EXCELL, XML o lo visualiza en el sistema.
Monitoreo	Monitoreo automático de estructuras	Tipos de monitoreo realizado. Permanente, o periódico.

Figura 9. Funciones que deben tener los sistemas de monitoreo de puentes.

Fuente: Garita, Ortiz, & Mora-Mora (2018).

Añadido a esto, en la siguiente figura se realizan una comparación de los sistemas nacionales y otros sistemas de monitoreo de puentes que se utilizan a nivel mundial, tomando en cuenta las funciones mencionadas en la figura anterior. En cada celda se indica si el sistema cumple o no con la funcionalidad respectiva, o bien

si no se encontró suficiente información para determinarlo



	SIPUMEX	LTBP	BRIMOS	SMH Live	Pontis	SAEP	E-Bridge 2.0	Prototipo Chile
Administración de información técnica	Si.	Si.	Si.	-	Si.	Si.	Si.	Si.
Modelo de fiabilidad	Si.	-	-	-	-	-	Si.	-
Inspección	-	Si.	Si.	-	Si.	Si.	Si.	Si.
Inteligencia de negocios	-	-	-	-	-	-	Si.	-
Red de comunicación	Si.	No.	-	Si.	-	No.	Si.	No.
Integración de información	-	Si.	Si.	Si.	Si.	Si.	Si.	-
Aplicación para dispositivos móviles	No.	No.	No.	No.	No.	No.	Si.	No.
Riesgo ambiental	Si.	-	Si.	-	-	-	No.	-
Sistema de información geográfico	-	-	Si.	No.	-	Si.	Si.	Si.
Priorización	Si.	-	Si.	-	Si.	Si.	No.	No.
Proyección	-	-	-	-	Si.	-	No.	No.
Predicción	Si.	-	Si.	Si.	Si.	No.	No.	No.
Gestión de presupuesto	-	-	-	-	-	No.	No.	No.
Gestión de costos	Si.	Si.	-	-	Si.	Si.	No.	Si.
Generación de reportes	Si.	-	Si.	Si.	Si.	Si.	Si.	-
Monitoreo automático	Si.	No.	Si.	Si.	-	-	Si.	No.

Figura 10. Comparación entre sistemas de monitoreo.  
Fuente: Garita, Ortiz, & Mora-Mora (2018)

De esta manera, Garita, Ortiz, & Mora-Mora (2018), concluyen que BRIMOS y SHMLive están entre los sistemas existentes más completos para monitoreo de puentes y que también se identificaron funciones poco comunes en sistemas existentes tales como de inteligencia de negocios y aplicaciones móviles. Gracias a este estudio se puede observar claramente, los aspectos en los que el SAEP debe mejorar para encontrarse en la vanguardia de los sistemas de monitoreo de puentes.

Posterior a la definición de los conceptos de puente, tipos, sus componentes y conocer la gestión y el estado actual del inventario nacional, la condición general de los puentes en Costa Rica y de comparar el SAEP con otros programas de monitoreo de puentes, se puede iniciar a comprender los conceptos relacionados al mantenimiento de puentes y lo que implica un programa eficiente de conservación de puentes.

## Programa de conservación de puentes

Los puentes son el componente más importante de la infraestructura vial, típicamente, representan el componente más caro por metro lineal en la construcción de carreteras, además, en caso de colapso, toda la ruta queda fuera de operación (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018).

A pesar de su clara importancia, en Costa Rica, la mayoría de estas estructuras fueron construidas hace más de 30 años y la inversión en mantenimiento y actualización ha sido mínima (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018). Según estudios realizados por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del TEC, gran cantidad de estos problemas son producto de la falta de un plan de monitoreo y mantenimiento continuo de las estructuras, y es por esta razón

que es indispensable que el país implemente un programa de conservación de puentes (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018).

Un programa de conservación de puentes busca procedimientos de preservación apropiados para extender al máximo la vida útil de sus elementos, es decir, los elementos se intervienen cuando sus daños están en una fase leve y de esta forma se evitan procedimientos de rehabilitación o reconstrucción, los cuales resultan mucho más costosos.

Según la Federal Highway Administration (2018), un programa de conservación de puentes consiste en aplicar procedimientos de mantenimiento para prolongar la vida de servicio de los puentes y retrasar la necesidad de intervenir los puentes con procedimientos de rehabilitación o reconstrucción.

En otras palabras, se debe evitar llegar a un estado en el que se requiera la demolición y reconstrucción del puente, ya que este es el escenario en el cual se incurre en la mayor cantidad de gastos.

Según la Federal Highway Administration (2018), la preservación o conservación de los puentes se da mediante acciones o estrategias para prevenir, retrasar o reducir el deterioro en los elementos de los puentes, restaurar la función de los puentes existentes, mantener los puentes en buenas condiciones y extender su vida de servicio.

De acuerdo con la Federal Highway Administration (2018), un eficiente programa de conservación de puentes debe:

1. Emplear estrategias a largo plazo y aplicarlas en la red nacional de puentes para preservar su condición y extender su vida útil.
2. Poseer suficientes recursos y financiamiento para llevar a cabo el programa de conservación de puentes.
3. Tener herramientas y procesos adecuados para asegurar que los procedimientos de conservación sean aplicados en el momento apropiado.

La Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos define conceptos relacionados a un programa de conservación de puentes de la siguiente manera:

**Mantenimiento:** según la Federal Highway Administration (2018), mantenimiento se define como el trabajo que se debe llevar a cabo para mantener la condición de las vías o para restaurar las condiciones de servicio.

**Mantenimiento preventivo:** la Federal Highway Administration (2018) define el mantenimiento preventivo como una estrategia planificada para preservar el sistema de puentes, retardar su deterioro y mantener los puentes en un estado de servicio adecuado, extender su vida útil y evitar grandes gastos de reconstrucción. Este tipo de actividades se deben aplicar en puentes que todavía cuenten con un largo periodo de vida útil.

Algunas actividades de mantenimiento preventivo según la Federal Highway Administration (2011), pueden ser: lavar o limpiar el puente, remover la vegetación, sellar las juntas en el sistema de piso, limpiar el drenaje, sellar las grietas en los elementos concreto, pintar los elementos de acero, remover escombros del cauce, proteger contra la socavación, lubricar los apoyos, entre otros.

Según la Federal Highway Administration (2011), el mantenimiento preventivo se divide en dos actividades:

- **Actividades cíclicas:** son actividades que se realizan en intervalos predeterminados de tiempo, cuyo objetivo es preservar los puentes existentes y retrasar el deterioro de los elementos del puente.

Según la Federal Highway Administration (2018), algunos ejemplos de actividades cíclicas pueden ser: lavar o limpiar el puente, limpiar los drenajes, limpiar y lubricar los apoyos, sellar las grietas en el concreto, entre otros.

**Cuadro 1. Ejemplos de actividad cíclicas de mantenimiento preventivo.**

Actividad	Frecuencia (años)
Limpiar o lavar el puente	1-2
Sellar las grietas en el concreto	3-5
Sellar las grietas en la losa	3-5
Colocar una sobrecapa polimérica	8-12
Colocar una sobrecapa de asfalto	12-15

Fuente: elaboración propia a partir de datos tomados de (Federal Highway Administration, 2018).



Es importante resaltar que otros países que cuentan con avanzados programas de mantenimiento de puentes, como Japón, también definen estos conceptos de forma similar. La Agencia Internacional de Cooperación de Japón (JICA) le llama a estas actividades, mantenimiento rutinario y lo define como: trabajos que se deben llevar a cabo regularmente, ya sea, de forma diaria, semanal, mensual o anual para monitorear el estado de los puentes, prevenir daños, reparar daños menores que pueden afectar la calidad de los puentes y mantener un nivel de servicio adecuado para asegurar un tráfico fluido y seguro (Japan International Cooperation Agency (JICA), 2018).

Según White, Minor, & Derucher (1992), los mantenimientos cíclicos o rutinarios son los más comunes porque consumen una mayor cantidad de horas para las cuadrillas, en trabajos que incluyen actividades como: la remoción de suciedad y escombros, limpiar y pintar, sellado de descascaramiento en las losas y la colocación de sobrecapas en las losas.

Este tipo de mantenimiento es muy importante porque impide el inicio del deterioro en los diferentes elementos, por ejemplo, la remoción de suciedad, escombros, entre otros, permite proteger la pintura en puentes de acero, de esta forma no solamente se alarga la vida útil de la pintura, sino que se retrasa el inicio de la oxidación (White, Minor, & Derucher, 1992). Evitar que se acumule la suciedad también permite mantener los drenajes en buenas condiciones y, por lo tanto, se evitan problemas a corto plazo en juntas y apoyos, los cuales son los elementos con un menor periodo de vida útil.

- **Actividades según la condición de los elementos del puente:** son actividades que se deben programar de acuerdo con las necesidades específicas de cada elemento y deben identificarse en el proceso de inspección de puentes. Según Federal Highway Administration (2018), algunas de estas actividades pueden ser: Sellar o reemplazar juntas, instalar sobrecapas de asfalto, instalar sistemas de protección catódica, pintar o revestir elementos de acero, instalar medidas contra la socavación, reparar los drenajes de la losa, remover los escombros del cauce, entre otras.

A este tipo de actividades JICA les llama de mantenimiento periódico, y las define como: trabajos que se deben programar de acuerdo a una inspección previa y cuyo objetivo es, reparar daños en los elementos de los puentes que ocurren por condiciones normales de servicio y así, recuperar su resistencia y funcionalidad para garantizar un tráfico fluido y seguro (Japan International Cooperation Agency (JICA), 2018).

**Mantenimiento no programado:** Según Japan International Cooperation Agency (JICA) (2018), el mantenimiento no programado se debe dar en caso de que existan daños debido a desastres naturales, tales como: inundaciones, huracanes, tormentas u otros incidentes no esperados.

**Rehabilitación:** según Federal Highway Administration (2011), la rehabilitación incluye actividades que involucran un trabajo complejo para restaurar la integridad estructural de un puente o para mejorar la seguridad del puente. Usualmente, incluye actividades que restauran totalmente la integridad de algún elemento del puente. Algunas de estas actividades pueden ser: el reemplazo total o parcial del sistema de piso, reemplazo de la superestructura, algún tipo de reforzamiento, entre otras.

**Reemplazo:** según Federal Highway Administration (2011), el reemplazo se refiere a la demolición y reconstrucción de la estructura de paso y no se considera una actividad de conservación de puentes.

Es importante recalcar que para que un programa de conservación de puentes sea efectivo, debe ir de la mano de un programa de inspección de puentes (White, Minor, & Derucher, 1992). De esta forma, se pueden programar adecuadamente los mantenimientos periódicos y las rehabilitaciones.

En Costa Rica, la Ley 7798 que decreta la Creación del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI), “regula la construcción y conservación de las carreteras, calles de travesía y puentes de la red vial nacional” (Asamblea Legislativa, 1998). En la siguiente tabla, se puede observar como la versión actual de dicha ley (fue reformada por el artículo 1 de la ley N° 9484, el 4 de octubre de 2017), la cual define conceptos relacionados con la conservación de las vías.

<b>Cuadro 2. Conceptos relacionados a la construcción y conservación de vías del CONAVI.</b>	
<b>Término</b>	<b>Concepto</b>
Conservación vial	“Conjunto de actividades destinadas a preservar, de forma continua y sostenida, el buen estado de las vías y los puentes, de modo que se garantice un servicio óptimo al usuario. La conservación vial comprende todo lo que no alcanza a ser construcción de obras nuevas o variación sustancial de estándar de las existentes. Tampoco comprende las obras de restauración que se requieren a causa de emergencias, salvo lo dispuesto por la presente ley como excepción. Dentro de la conservación vial pueden distinguirse las siguientes actividades: mantenimiento (rutinario y periódico), refuerzo, rehabilitación y mejoramientos puntuales.”
Mantenimiento rutinario	“Conjunto de labores de limpieza de drenajes, control de vegetación, reparaciones menores y localizadas del pavimento y la restitución de la demarcación, que deben efectuarse de manera continua y sostenida a través del tiempo, para preservar la condición operativa, el nivel de servicio y seguridad de las vías. Incluye también la limpieza y las reparaciones menores y localizadas de las estructuras de puentes.”
Mantenimiento periódico	“Conjunto de actividades programables, cada cierto período, tendientes a renovar la condición original de los pavimentos mediante la aplicación de capas adicionales de lastre, grava, tratamientos superficiales o recapados asfálticos o de secciones de concreto, según el caso, sin alterar la estructura de las capas del pavimento subyacente. El mantenimiento periódico de los puentes incluye la limpieza, la pintura y la reparación o el cambio de elementos estructurales dañados o de protección.”
Rehabilitación	“Reparación selectiva y refuerzo del pavimento o la calzada, previa demolición parcial de la estructura existente, con el objeto de restablecer la solidez estructural y la calidad de ruedo originales. Además, por una sola vez en cada caso, podrá incluir la construcción o reconstrucción del sistema de drenaje que no implique construir puentes o alcantarillas mayores. Antes de cualquier actividad de rehabilitación en la superficie de ruedo, deberá verificarse que el sistema de drenaje funcione bien. La rehabilitación de puentes se refiere a reparaciones mayores, tales como el cambio de elementos o componentes estructurales principales o el cambio de la losa del piso.”
Reconstrucción	“Renovación completa de la estructura del camino, con previa demolición parcial o total de la estructura del pavimento o las estructuras de puente.”
Mejoramiento	“Mejoras o modificaciones de estándar horizontal o vertical de los caminos, relacionadas con el ancho, el alineamiento, la curvatura o la pendiente longitudinal, a fin de incrementar la capacidad de la vía y la velocidad de circulación. También se incluyen, dentro de esta categoría, la ampliación de la calzada, la elevación del estándar del tipo de superficie ("upgrade") de tierra a lastre o de lastre a asfalto, entre otros, y la construcción de estructuras tales como alcantarillas grandes, puentes o intersecciones.”
Mejoramientos puntuales	“Corresponden a mejoras o modificaciones localizadas del estándar horizontal o vertical de los caminos, relacionadas con el ancho, el alineamiento, la curvatura o la pendiente longitudinal, a fin de incrementar la seguridad vial. Se consideran mejoramientos puntuales: la construcción de bahías de autobuses, el mejoramiento de cruces, la ampliación puntual de la calzada para ubicar un carril de giro; así como

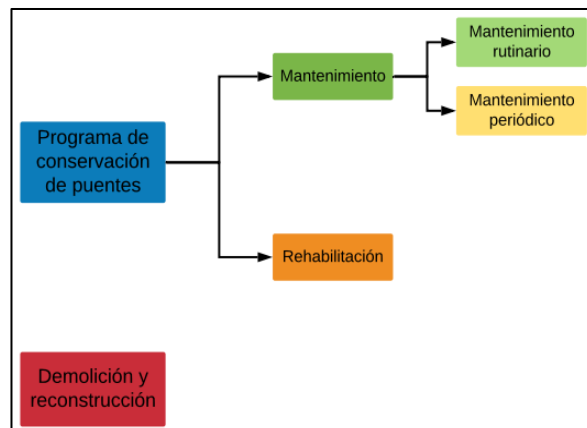
	corregir el alineamiento vertical u horizontal de puntos con incidencia de accidentes de tránsito.”
Obras nuevas	“Construcción de todas las obras viales que se incorporen a la red nacional existente, de acuerdo con la presente ley.”

Fuente: Ley No. 7798 (1998)

Costa Rica debe adoptar un sistema estratégico de conservación de puentes que busque un balance entre conservación y reconstrucción. Si el único enfoque es rehabilitar o demoler y reconstruir puentes, y no conservarlos, se genera un impacto económicamente negativo. Se deben aplicar procedimientos de conservación adecuados para extender la vida útil de los puentes y de esta forma abaratar los costos, ya que se aplaza el momento de la sustitución de la estructura de paso.

En el largo plazo, las actividades de mantenimiento son más económicas que una pronta reconstrucción del puente. También, cabe resaltar que a pesar de que las actividades de rehabilitación se contemplan dentro de un programa de mantenimiento de puentes, igualmente se deben evitar, ya que resultan en trabajos complejos que tienden a elevar los costos de conservación. Añadido a esto, se debe realizar un análisis beneficio-costos para determinar si es mayor el beneficio al realizar la rehabilitación o al reemplazar el puente.

Siguiendo las recomendaciones de la Administración Federal de Carreteras y relacionando los conceptos que establece el CONAVI con los de la Administración Federal de Carreteras, se recomienda utilizar el siguiente diagrama para establecer un futuro programa de conservación de puentes en el país.



**Figura 11. Programa de conservación de puentes.**

Fuente: Elaboración propia a partir de las recomendaciones de (Federal Highway Administration, 2011).

Mediante la figura anterior, se busca representar de una forma gráfica como debe estar estructurado un programa de conservación de puentes. De acuerdo con lo mencionado previamente, a través de procedimientos de mantenimiento se busca extender al máximo la vida útil de un puente y sus elementos. Cuando esto ya no es viable, se deben realizar rehabilitaciones para regresar el puente a un estado de servicio óptimo y nuevamente repetir el ciclo, es decir, con procedimientos de mantenimiento evitar que el puente llegue a una condición donde necesite rehabilitaciones. El ciclo se debe repetir hasta que con la ayuda de un análisis costo-beneficio se determine que lo adecuado es reemplazar la estructura.

Según Ramírez-Alméciga (2016), el SAEP no está diseñado para registrar trabajos de mantenimiento o rehabilitación, por lo que, para adoptar un programa de conservación de puentes se recomienda actualizar el SAEP o implementar un nuevo software que pueda almacenar dicha información.

A pesar de que un programa de conservación implica un costo constante para

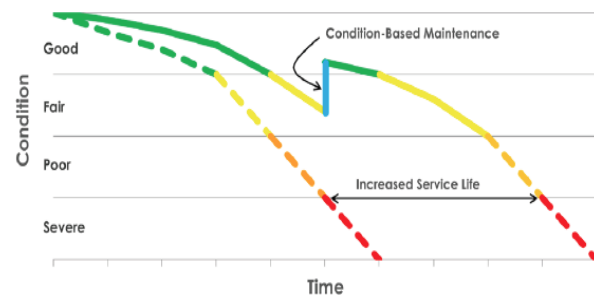
llevar a cabo las actividades de mantenimiento, el costo anual a lo largo de la vida útil del puente se disminuye. Esto pasa porque la vida de servicio aumenta y las intervenciones son menos complejas.

Según la Federal Highway Administration (2011), un programa de conservación de puentes debe tener 6 atributos mínimos:

- 1) **Objetivos medibles:** un programa de mantenimiento debe tener objetivos claramente definidos y medibles. Para establecer los objetivos se debe desarrollar una lista de actividades de mantenimiento. Un ejemplo de objetivo medible puede ser: Mantener un porcentaje “x” de puentes con una clasificación de daños en sus elementos menores a 3. También, se pueden definir objetivos para las actividades cíclicas y para las actividades según la condición de los elementos, por ejemplo: Sellar losas de concreto con algún sellador impermeable cada “x” cantidad de años o limpiar los puentes cada año. Es importante que los objetivos sean medibles para poder llevar un registro de los puentes que se intervienen, el procedimiento que se aplica y la frecuencia.
- 2) **Inventario de puentes y una clasificación de daños por elemento:** disponibilidad de herramientas y recursos para levantar un inventario de puentes, llevar a cabo la inspección y la evaluación de sus elementos.
- 3) **Evaluación de necesidades:** de acuerdo con el inventario y a la evaluación de los elementos se debe documentar como se identifican, priorizan y programan las necesidades para intervenir los puentes con procedimientos de mantenimiento.  
Debe incluir un programa que incluya la frecuencia de las actividades rutinarias y de acuerdo con la inspección se deben programar las actividades periódicas. Además, se deben tener calcular los costos del mantenimiento preventivo para lograr los objetivos establecidos y se debe tener un mecanismo para el registro de los trabajos que se van a realizar.
- 4) **Análisis costo-beneficio:** cuando se requiera, se debe realizar un análisis costo-beneficio para comprobar que son más eficientes los procedimientos de mantenimiento que una rehabilitación o reconstrucción.

- 5) **Llevar a cabo el trabajo:** disponibilidad de herramientas y recursos para poder llevar a cabo los procedimientos de mantenimiento.
- 6) **Informes y seguimiento:** se debe poder dar seguimiento, evaluar, reportar el trabajo realizado y el costo. Es sumamente importante llevar un registro de todas las actividades de conservación que se realizan en cada puente. Mediante un seguimiento adecuado de todas las actividades que se realizan se puede mejorar el programa de mantenimiento.

En la siguiente figura, se puede observar cómo un programa de conservación de puentes incrementa la vida de servicio de un puente.



**Figura 12. Beneficio de un programa de conservación de puentes.**

Fuente: Federal Highway Administration (2018).

Actualmente, Costa Rica ya cuenta con un inventario de los puentes en rutas nacionales, que a la vez permite definir la condición del puente y sus elementos en una condición satisfactoria, deficiente o regular. Además, se cuenta con un sistema de priorización de daños, por lo tanto, ya es posible pensar en diseñar y desarrollar un programa de conservación e intervención a largo plazo, así como priorizar de una mejor manera la inversión de los recursos públicos (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018).

Mediante este trabajo, se busca aportar a este objetivo, desarrollando un Manual para el Mantenimiento de Puentes con una serie unificada de procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico para atender cada uno de los daños típicos presentes en los elementos de los puentes. Se debe recalcar que es imperativo seguir trabajando en este tema para que el país pueda contar con un programa completo de conservación de puentes.

# Metodología

El presente proyecto pretende desarrollar un manual para darle mantenimiento rutinario y periódico a los puentes de Costa Rica, abarcando procedimientos para abordar los daños más comunes.

Inicialmente, del Manual de Inspección de Puentes y de los Lineamientos para el Mantenimiento de Puentes (ambos del MOPT) se extrajeron los componentes de un puente y sus respectivas definiciones. Además, se investigó la gestión actual de los puentes en Costa Rica tomando como fuente principal el boletín técnico titulado como “El sistema informático para la administración de estructuras de puentes de Costa Rica (SAEP): ¿Vamos en la dirección correcta?”

Adherido a esto, a partir de la información disponible en el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP), se construyeron gráficos para conocer el inventario y el estado de los puentes en Costa Rica. Gracias al artículo de la Revista Tecnología en Marcha, titulado como “Análisis de requerimientos para un sistema de monitoreo de puentes” (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018), se identificaron las funciones que debe tener un software de monitoreo de puentes, se compararon diversos sistemas de monitoreo con el SAEP y se identificaron las funciones que el SAEP debe implementar para encontrarse en la vanguardia de los softwares de monitoreo de puentes.

Luego, se realizó una revisión bibliográfica de los manuales de interés disponibles en la pestaña de mantenimiento de puentes del National Bridge Inventory (NBI). Se revisaron manuales de los estados de Michigan, Minnesota, Nueva York, Ohio, Texas, Washington y Wisconsin, además, de la sección de publicaciones relevantes de otros estados. De dichos manuales y de un informe de una fuente japonesa titulado como “The project for capacity enhancement in road maintenance, phase II”, se extrajeron las definiciones relacionadas a un programa de conservación de puentes, las cuales se relacionaron a los conceptos que rigen en nuestro país y que los

estipula la Ley 7798 que decreta la Creación del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI). Añadido a esto, se encontró la estructura de un programa de conservación de puentes, los beneficios que trae y los atributos y aspectos mínimos que se deben considerar para poder adoptar un programa de este tipo.

Para lograr el segundo objetivo, se extrajeron los 83 daños presentes en el Manual de Inspección de Puentes. Estos daños fueron clasificados de acuerdo con los elementos de la superestructura (losa, vigas de concreto, vigas de acero y sistemas de arriostramiento), subestructura (bastiones, pilas y apoyos) y accesorios (barandas, juntas de expansión y pavimento). Se compararon los daños y se encontró que diferentes elementos pueden tener los mismos daños, de esta forma, se hallaron 43 daños diferentes.

En el PEEP, se encuentra tabulada de forma gráfica la información de los 1669 informes de inspección (representan el 100 % de los puentes en rutas nacionales), gracias a esta información se llevó a cabo el Apéndice 1 y 2. En estos se encuentran los 43 daños diferentes junto a los elementos en los que se pueden dar estos daños. Además, se agregaron columnas con la condición (satisfactoria, regular, deficiente) de los daños en los elementos para conocer cuántas veces se repite el daño en los elementos de los puentes del inventario nacional. Tal y como se menciona en el Anexo 1, la condición satisfactoria se refiere a que al daño se le dio una calificación de 1; esta calificación, según el Manual de Inspección de Puentes, en todos los casos significa que no hay daño, excepto para el acero de refuerzo expuesto, es por esta razón que cuando se suman los daños encontrados no se toma en cuenta la condición satisfactoria. De este modo, se logró encontrar los daños más repetitivos de los puentes que se encuentran sobre rutas nacionales y se tabularon los que presentaron más de 350 repeticiones.

Posteriormente, a partir de la información disponible en el PEEP, se realizaron gráficos acerca de la condición general de los elementos en peor estado junto al daño en peores condiciones del elemento. Añadido a eso, se agregó un resumen de la condición general de los elementos de la superestructura, subestructura y accesorios. Se agregaron los gráficos, con el fin de analizar la condición de los elementos y su relación con los daños más comunes encontrados.

Para alcanzar el tercer objetivo, se realizó una investigación bibliográfica acerca de los daños encontrados, se revisó el “Manual de Inspección de Puentes”, la “Propuesta de modelo de priorización y metodologías para la intervención de losas, juntas y apoyos en puentes” y el libro titulado como “*Concrete Repair and Maintenance Illustrated*”. Gracias a estos, se logró realizar un análisis de los daños, sus posibles causas y consecuencias en un puente. La información fue tabulada mediante una tabla. Luego, se realizó una entrevista a los ingenieros inspectores de puentes del PEEP (Rolando Pereira y Alejandro Alfaro) para enriquecer el análisis y, por lo tanto, el contenido de la tabla.

El cuarto objetivo consistió en proponer procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico para los 16 daños más comunes, es decir, los daños que contaron con más de 350 repeticiones en los 1669 puentes de rutas nacionales. De esta manera, se inició con la redacción del Capítulo 3, Procedimientos de Mantenimiento, del Manual para el Mantenimiento de Puentes, el cual se puede observar en el Apéndice 3.

Inicialmente, se definió cada uno de los daños, sus posibles causas y consecuencias y se agregaron imágenes (facilitadas por el PEEP) representativas de los daños en los diferentes elementos de los puentes. Se debe mencionar que cada uno de los informes de inspección visual incluye imágenes de los daños, por lo que se revisaron alrededor de 100 informes hasta obtener las imágenes necesarias de cada uno de los daños.

Luego, para definir los procedimientos, se revisaron diferentes fuentes bibliográficas; principalmente, se utilizó el Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual del Departamento de Transportes de Georgia, además de otras fuentes como Concrete Repair and Maintenance Illustrated de Emmons, el Manual para la Reparación, Refuerzo y Protección

de las estructuras de concreto de Do Lago Helene, Improvement of Quality Management for Highway and Bridge Construction and Maintenance, Phase II de JICA, Fundamentals of Bridge Maintenance and Inspection del Departamento de Transportes de Nueva York, entre otras. Estos procedimientos fueron adaptados a las normativas nacionales utilizando el Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes (MCV-2015) y el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010).

Para cada procedimiento, se definió un objetivo, criterio, notas generales, especificaciones de los materiales, herramientas, además de que se menciona dónde se encuentran las especificaciones (referencias bibliográficas) de cada procedimiento. Es importante mencionar que el criterio hace una referencia directa al Manual de Inspección de Puentes del MOPT y menciona para qué grado, del daño respectivo, el procedimiento es aplicable. Por ejemplo, para el procedimiento D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa, se menciona que es aplicable para un grado de acero expuesto de 2 o mayor y que en caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-V1 Reparación del descascaramiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.

Como se puede observar en el ejemplo anterior, cada procedimiento cuenta con su propio código. Mediante los códigos, se buscó asociar cada procedimiento a uno de los daños más comunes, indicar si se trata de un procedimiento de mantenimiento rutinario o periódico, además de indicar para cuáles elementos del puente es aplicable. Para explicar con detalle el significado de los códigos se elaboró el Apéndice 1, del Manual para el Mantenimiento de Puentes.

Para definir el paso a paso de cada procedimiento, se comenzó con el daño más común (acero de refuerzo expuesto), el cual se puede dar en todos los elementos de concreto, sin embargo, no a todos los elementos se les puede dar el mismo procedimiento, por aspectos como: colocación, funcionalidad, importancia estructural, necesidad de detener el flujo vehicular, entre otros. Por esta razón, para este daño, se propusieron procedimientos de mantenimiento diferentes para losas, barandas de concreto, cuerpo principal de

pila o bastión y viga principal o diafragma de concreto. Las especificaciones para lograr definir estos procedimientos fueron: Sección 603: Reparación parcial o reposición total de barandas de puentes, Sección 608: Reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, Sección 611: Reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes del MCV-2015, la Subsección 501.16 Apertura del tránsito del CR-2010, la Actividad 810.01 – Deck Spall Repair, Actividad 815.03 – Standard Barrier Top Spall Repair, Actividad 830.14 – Cap-Column Spall Repair – Full Depth y la Actividad 830.22 – Spall Repair of RCDG, del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual del Departamento de Transportes de Georgia.

Añadido a los procedimientos de mantenimiento convencionales propuestos, se incluyó un procedimiento de reparación mediante la instalación de ánodos galvánicos embebidos, utilizando como referencia el “Procedimiento para la instalación de ánodos galvánicos embebidos” del ACI RAP-8S.

Para los procedimientos de acero expuesto fue necesario explicar cómo se calcula la longitud de anclaje del refuerzo longitudinal según la Sección 8.5 del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR-10), para lograrlo, se elaboró el Apéndice 2, del Manual para el Mantenimiento de Puentes. Posteriormente, este Apéndice también fue necesario en los los procedimientos para intervenir los nidos de piedra y el faltante en barandas.

Para el segundo daño más común (eflorescencia), se definieron tres procedimientos diferentes para intervenir el daño y se utilizaron las siguientes referencias: Sección 4.1.7 Cepillado manual, 4.1.5 Lijado Manual, 4.1.6 Lijado Eléctrico y 4.2.4 Lavado con soluciones ácidas del Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto.

El tercer daño más común son los nidos de piedra, los cuales se dan principalmente en pilas, bastiones, viga principal y diafragma de concreto, por lo que se incluyeron procedimientos de mantenimiento para intervenir estos elementos. Las referencias utilizadas fueron la Sección 608: Reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, del MCV-2015, la Actividad 830.14 – Cap-Column Spall Repair – Full Depth y la Actividad 830.22 – Spall Repair of RCDG del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, del Departamento de Transportes de Georgia.

El cuarto daño más común es el descascamiento en el concreto, para este caso, se incluyeron procedimientos para intervenir las losas, vigas principales o diafragma y el cuerpo principal del bastión o pila. Debido a la similitud que tienen estos procedimientos con los de reparación del acero de refuerzo expuesto y los nidos de piedra, se utilizaron las mismas referencias.

El quinto daño más común son las juntas obstruidas. Para solucionar hasta un grado 4 de este daño, se propuso una limpieza general del puente siguiendo lo estipulado en la Sección 601: Limpieza manual de puentes, del MCV-2015. El grado 5 se refiere a una obstrucción por la colocación de sobrecapas de pavimento (décimo daño más común), lo que implica utilizar el procedimiento D10-MR-L1 Remoción de sobrecapas de pavimento y colocación de nuevas superficies de ruedo de concreto asfáltico.

El sexto y séptimo daño se refieren, respectivamente, a la corrosión y oxidación que se puede dar en los elementos de acero. Para definir estos procedimientos se utilizó la Sección 563.) Pintura, del CR-2010 y Sección 605: Limpieza de superficies de puentes de concreto o acero con agua a presión, del MCV-2015.

El octavo daño más común es la filtración de agua a través de las juntas de expansión y se propuso un procedimiento para sustituir las juntas de expansión por juntas de silicona, con la ayuda de la Sección 609: Reemplazo de juntas de expansión de puentes, del MCV-2015, la Subsección 502.06 Reparación de Juntas y Grietas, del CR-2010 y la Actividad 800.01 – Bridge Deck Joint Sealing (Silicone), del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, del Departamento de Transportes de Georgia. Según los anchos de abertura de las juntas establecidos por el Manual de Inspección de Puentes, mediante este procedimiento se pueden intervenir las juntas abiertas y juntas selladas (rellenas o con sellos comprimidos de neopreno). Sin embargo, no se propuso un procedimiento para reemplazar juntas de placas de acero deslizante o juntas de placas dentadas.

Para el noveno daño más común (grietas en una dirección), se propuso una reparación para grietas mayores de 0,33 mm por medio de la inyección de resinas epóxicas a presión. Además, se incluyó una tabla con los anchos de grieta tolerables del ACI 224R-01. Para definir este procedimiento se utilizó la Sección 606: Limpieza

y sellado de grietas en elementos de concreto en puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.13 – Epoxy Injection (Cap and Columns) del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, del Departamento de Transportes de Georgia.

Añadido a esto, se incluyó un procedimiento para el sellado de grietas en losas de concreto o carpetas asfálticas según lo mencionado en la norma ASTM D 6690, la Subsección 416.05 Limpieza, preparación y sello de grietas, del CR-2010 y el procedimiento “Crack sealing on portland cement concrete decks” del Fundamentals of Bridge Maintenance and Inspection del Departamento de Transportes de Nueva York.

Para las sobrecapas de pavimento (décimo daño más común), se propuso un procedimiento para demolerlas y colocar nuevas superficies de ruedo, utilizando como referencia las especificaciones de la Sección 612: Reparación de superficie de desgaste de concreto asfáltico en puentes, del MCV-2015, la División 400. Pavimentos asfálticos y tratamientos superficiales y la Sección 559.) Impermeabilización (agua), del CR-2010.

El onceavo daño más común es la socavación en bastiones, para el cual se propusieron dos procedimientos. El primero es una limpieza de los cauces para prevenir la socavación y se definió siguiendo lo establecido en la Sección 602: Limpieza de cauces en puentes, del MCV-2015. El segundo también busca prevenir la socavación mediante enrocados (escolleras) y se logró definir gracias a la Sección 617: Protección de riberas, del MCV-2015, la Sección 251.) Escolleras (Riprap), del CR-2010 y la Actividad 845.02 – Erosion Repair at Abutments del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, del Departamento de Transportes de Georgia.

Para doceavo daño más común (faltante o ausencia en barandas), se propuso un procedimiento para reparar cualquier grado de daño en barandas de concreto. Se definió siguiendo las especificaciones de la Sección 603: Reparación parcial o reposición total de barandas de puentes, Sección 608: Reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, del MCV-2015 y la Actividad 815.01 – Brush Curb Post Repair del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, del Departamento de Transportes Georgia. Añadido a esto, se

agrega un segundo procedimiento para dar a conocer cómo se debe proceder en caso de que un puente no cuente con barandas. Se presenta un resumen del procedimiento general para el diseño y disposición de las barandas para un puente (pretil de puente) del Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad. Se consideró importante incluir este resumen, ya que según el Decreto 37347, se deben acatar los lineamientos de este manual para la selección y disposición de las barandas.

No se incluye el décimo tercer daño (oxidación en sistemas de arriostramiento), porque es un daño que se puede reparar mediante los mismos procedimientos del sétimo daño más común (oxidación). Estos daños se consideraron diferentes porque el Manual de Inspección de Puentes del MOPT evalúa el sistema de arriostramiento de una forma diferente a las barandas y viga principal de acero.

Para el décimo cuarto daño (deformación en baranda y viga principal de acero), no se agregaron procedimientos ya que, en el caso de la viga principal de acero, su reparación requiere un análisis estructural para conocer la afectación de dicha deformación en el funcionamiento de la estructura. Además, su reparación implica complejos procedimientos de rehabilitación que no se incluyen en el alcance del manual. En el caso de las barandas de acero, también se requiere un análisis estructural para determinar si la baranda aún conserva la capacidad de absorber la energía de un impacto, por lo tanto, no se incluyeron procedimientos en el manual. Sin embargo, si a partir del criterio del ingeniero inspector se determina que se requiere una sustitución de la baranda, esto se debe hacer de acuerdo con las especificaciones del “Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial”. Un resumen de este procedimiento se encuentra en D12-MP-B2 Notas generales en caso de ausencia de barandas.

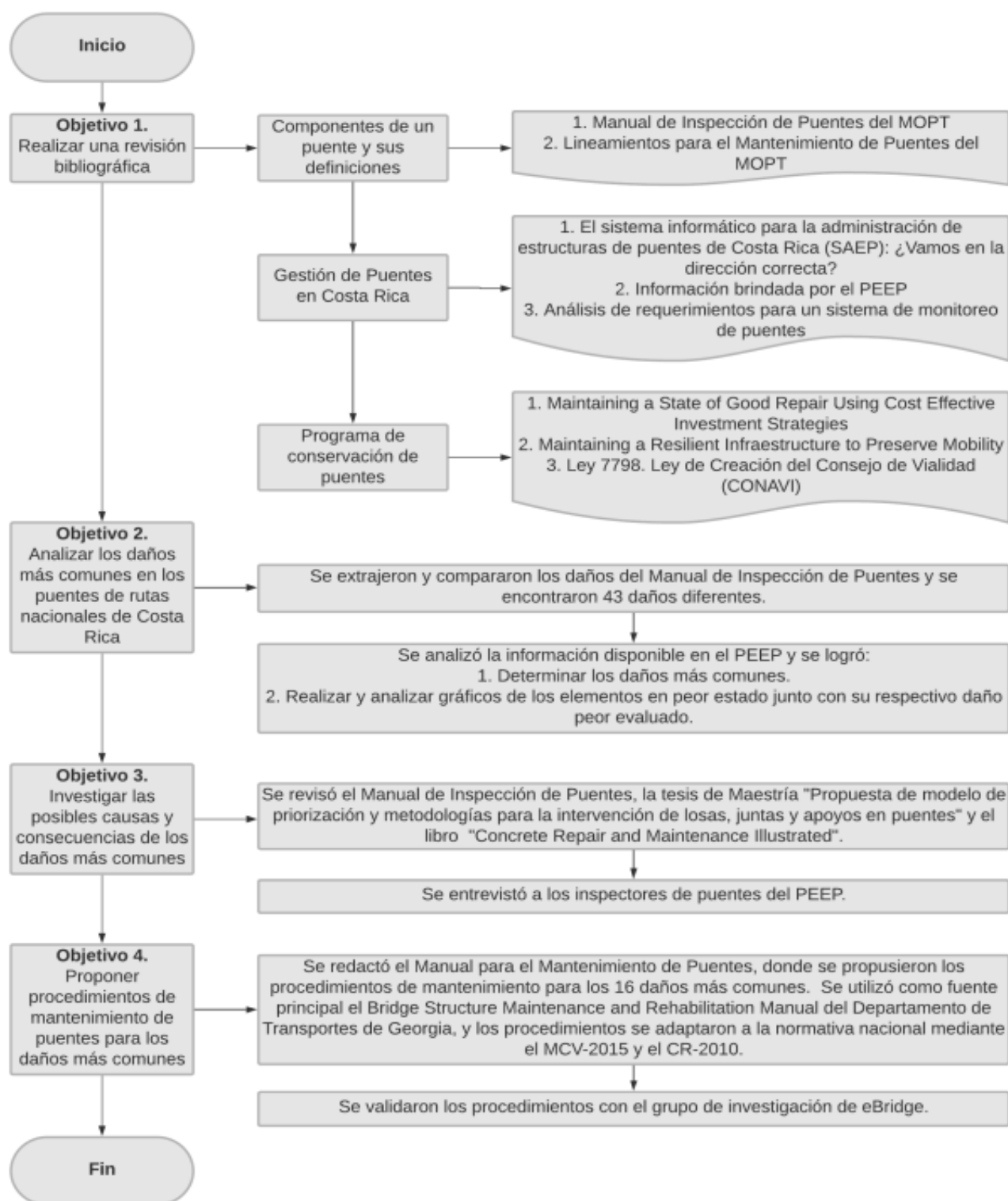
Para el décimo quinto daño (agrietamiento en la baranda de concreto), se recomendó utilizar el procedimiento D09-MP-T1 Reparación de grietas en una dirección mediante la inyección de resinas epóxicas a presión.

El décimo sexto daño es el descaramiento de la pintura en elementos de acero. Para definirlo se utilizó la Sección 563.) Pintura, del CR-2010. Debido a que es común encontrar apoyos deteriorados que requieren ser reemplazados se



incluyó un procedimiento para sustituirlos por medio de gatos hidráulicos. En este caso, se utilizó la Sección 610: Mantenimiento o reemplazo de dispositivos de apoyo de puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.23 – Bearing Failure Repair Under RCDG del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, del Departamento de Transportes de Georgia.

Posteriormente, se redactó el Capítulo 1. Generalidades, que incluye la introducción, objetivo, alcance, abreviaciones y componentes del Manual para el Mantenimiento de Puentes. Por último, se redactó el Capítulo 2. Daños más comunes que presentan los puentes de Costa Rica, en el cual se explica cómo se obtuvieron los 16 daños más comunes que afectan a los puentes nacionales.



**Figura 13. Diagrama de flujo de la metodología.**  
Fuente: Elaboración propia.

# Resultados

En el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, se especifican 83 daños que pueden existir en los elementos de un puente. En la siguiente tabla, se pueden observar los daños que puede tener cada uno de los elementos.

<b>Cuadro 3. Componentes de un puente y sus respectivos daños.</b>		
1. Accesorios	1. Pavimento	1. Ondulaciones 2. Surcos 3. Grietas 4. Baches en el pavimento 5. Sobrecapas de pavimento
	2. Barandas	1. Deformación (baranda de acero) 2. Oxidación (baranda de acero) 3. Corrosión (baranda de acero) 4. Faltante o ausencia (baranda de acero o concreto) 5. Agrietamiento (baranda de concreto) 6. Acero de refuerzo expuesto (barandas de concreto)
	3. Juntas de expansión	1. Sonidos extraños 2. Filtraciones de agua 3. Faltante o deformación 4. Movimiento vertical 5. Juntas obstruidas 6. Acero de refuerzo expuesto
2. Superestructura	1. Losa	1. Grietas en una dirección 2. Grietas en dos direcciones 3. Descascaramiento 4. Acero de refuerzo expuesto en la losa de concreto 5. Nidos de piedra 6. Eflorescencia en la losa de concreto 7. Agujeros en la losa de concreto
	2. Viga principal de acero	1. Oxidación 2. Corrosión 3. Deformación 4. Pérdida de pernos 5. Grieta en la soldadura o la placa

	3. Sistema de arriostramiento	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Oxidación</li> <li>2. Corrosión</li> <li>3. Deformación</li> <li>4. Rotura de conexiones</li> <li>5. Rotura de elementos</li> </ol>
	4. Viga principal de concreto	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grietas en una dirección</li> <li>2. Grietas en dos direcciones</li> <li>3. Descascaramiento</li> <li>4. Acero de refuerzo expuesto</li> <li>5. Nidos de piedra y cavidades</li> <li>6. Eflorescencia</li> </ol>
	5. Viga diafragma de concreto	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grietas en una dirección</li> <li>2. Grietas en dos direcciones</li> <li>3. Descascaramiento</li> <li>4. Acero de refuerzo expuesto</li> <li>5. Nidos de piedra y cavidades</li> <li>6. Eflorescencia</li> </ol>
	6. Pintura	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Decoloración</li> <li>2. Ampollas</li> <li>3. Descaramiento</li> </ol>
3. Subestructura	1. Apoyos	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Rotura de pernos</li> <li>2. Deformación</li> <li>3. Inclinación</li> <li>4. Desplazamiento</li> </ol>
	2. Viga cabezal y aletones del bastión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grietas en una dirección</li> <li>2. Grietas en dos direcciones</li> <li>3. Descascaramiento</li> <li>4. Acero de refuerzo expuesto</li> <li>5. Nidos de piedra</li> <li>6. Eflorescencia</li> <li>7. Protección del talud</li> </ol>
	3. Cuerpo principal del bastión	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grietas en una dirección</li> <li>2. Grietas en dos direcciones</li> <li>3. Descascaramiento</li> <li>4. Acero de refuerzo expuesto</li> <li>5. Nidos de piedra</li> <li>6. Eflorescencia</li> <li>7. Pérdida del talud de protección en frente del bastión</li> <li>8. Inclinación</li> <li>9. Socavación en la fundación</li> </ol>
	4. Martillo de la pila	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grietas en una dirección</li> <li>2. Grietas en dos direcciones</li> <li>3. Descascaramiento</li> <li>4. Acero de refuerzo expuesto</li> <li>5. Nidos de piedra</li> </ol>

		6. Eflorescencia
	5. Cuerpo principal de la pila	1. Grietas en una dirección 2. Grietas en dos direcciones 3. Descascaramiento 4. Acero de refuerzo expuesto 5. Nidos de piedra 6. Eflorescencia 7. Inclinación 8. Socavación en la fundación

Fuente: Elaboración propia a partir de datos tomados del Manual de Inspección de Puentes.

A pesar de que existen 83 daños en el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, tan solo hay 43 daños diferentes. Esto se da porque hay elementos que pueden tener los mismos daños, por ejemplo, una viga principal de concreto y una viga diafragma comparten los mismos daños.

## Daños más comunes del inventario nacional

En el apéndice 1 y 2, se muestran los 43 daños diferentes y los elementos en los que se pueden dar. Además, se determinaron cuáles son los que se encuentran más comúnmente en los puentes del país. En la siguiente tabla, se muestran los daños que presentaron más de 350 repeticiones.

<b>Cuadro 4. Daños más comunes que se encuentran en el inventario nacional de puentes.</b>	
<b>Daño</b>	<b>Repeticiones</b>
1. Acero de refuerzo expuesto	5954
2. Eflorescencia	3023
3. Nidos de piedra	1874
4. Descascaramiento del concreto	1284

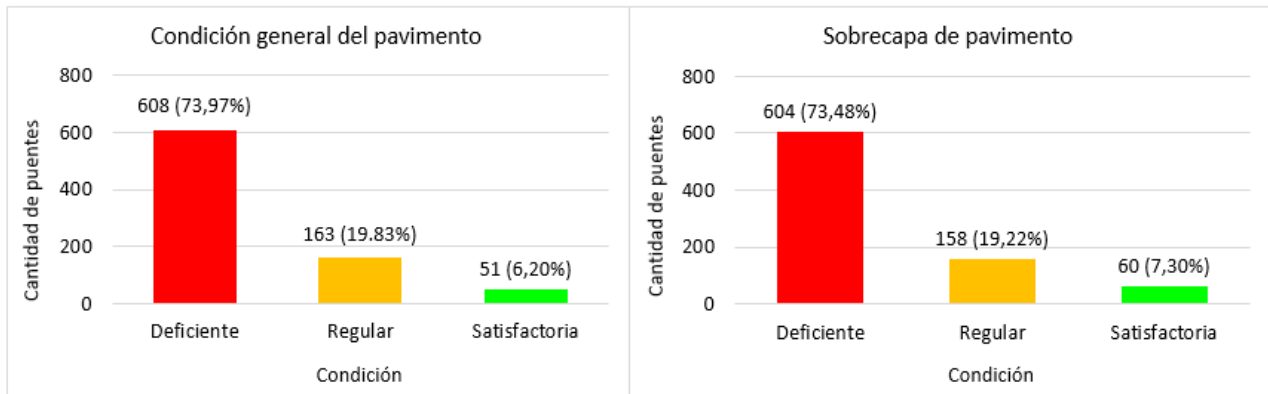
5. Juntas obstruidas	1014
6. Corrosión	995
7. Oxidación	973
8. Filtraciones de agua en juntas de expansión	950
9. Grietas en una dirección	883
10. Sobrecapas de pavimento	762
11. Socavación en el bastión	642
12. Faltante o ausencia en barandas	514
13. Oxidación en sistemas de arriostramiento	432
14. Deformación en baranda y viga principal de acero	375
15. Agrietamiento de la baranda de concreto	373
16. Descascaramiento de la pintura	360

Fuente: Elaboración propia.

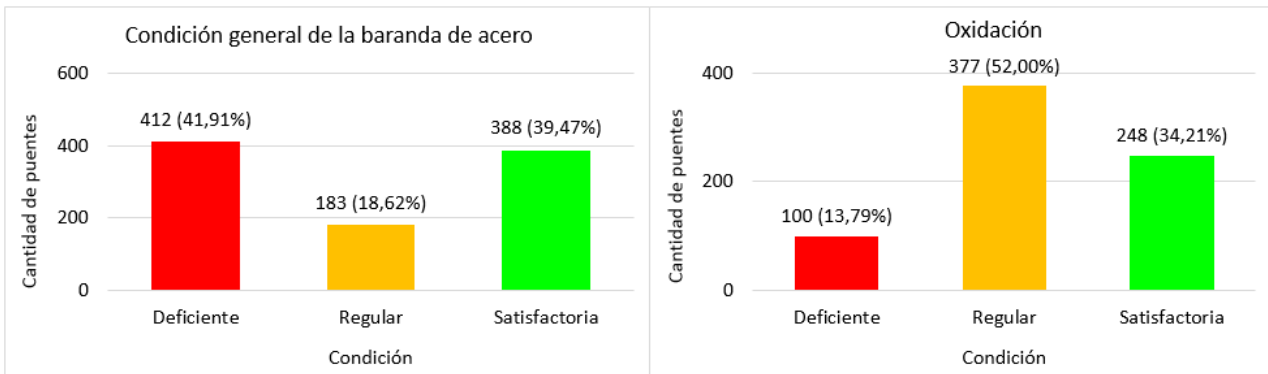
Añadido a la definición de los daños más comunes en los puentes de Costa Rica, se procede a graficar la condición general de los elementos y el respectivo peor daño.

# Condición general de los elementos

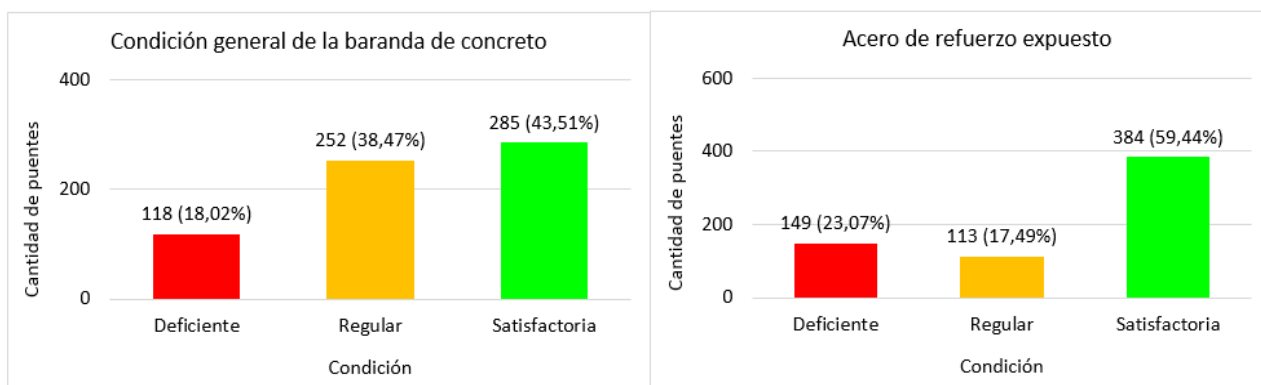
## Accesorios



**Figura 14. Condición general del pavimento y su peor daño.**  
Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.

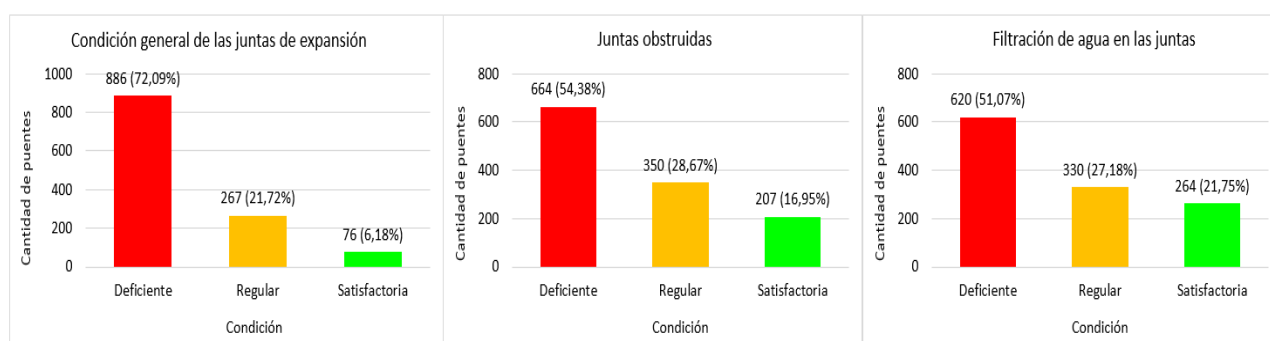


**Figura 15. Condición general de la baranda de acero y su peor daño.**  
Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.



**Figura 16. Condición general de la baranda de concreto y su peor daño.**

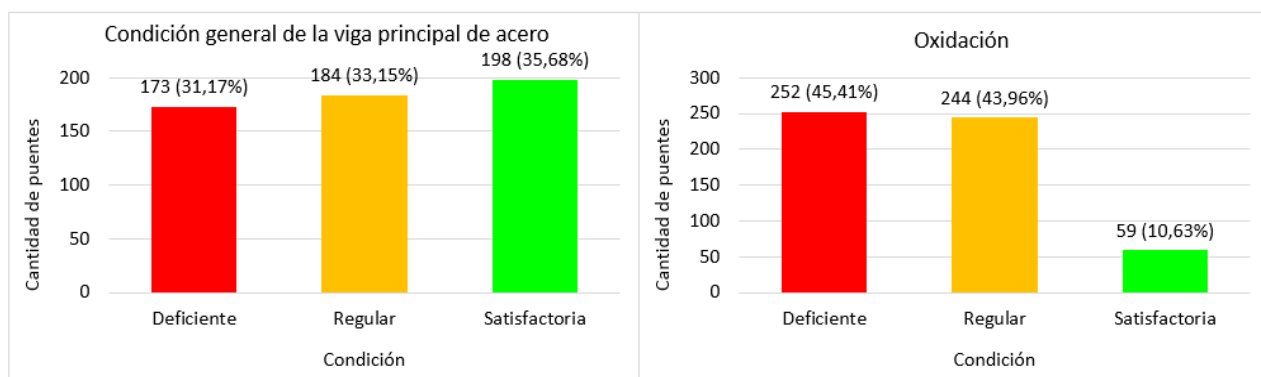
Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.



**Figura 17. Condición general de las juntas de expansión y sus dos peores daños.**

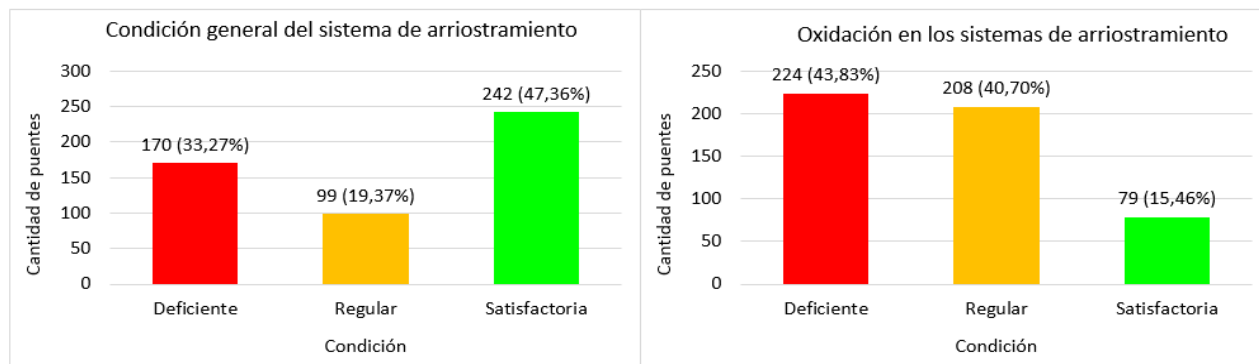
Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.

## Superestructura



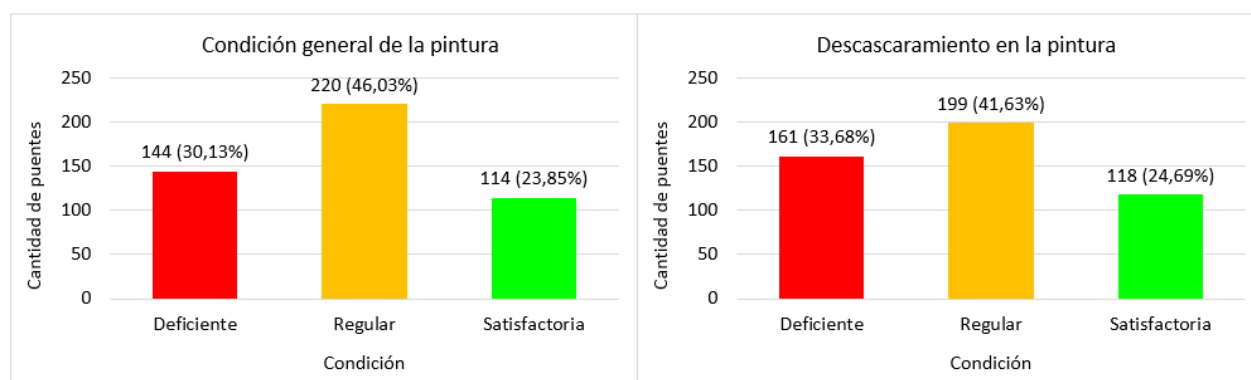
**Figura 18. Condición general de la viga principal de acero y su peor daño.**

Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.



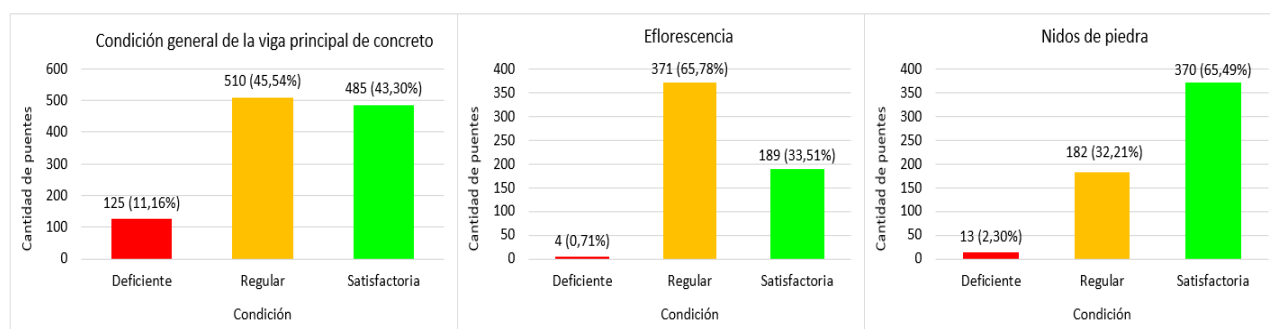
**Figura 19. Condición general del sistema de arriostramiento y su peor daño.**

Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.



**Figura 20. Condición general de la pintura y su peor daño.**

Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.



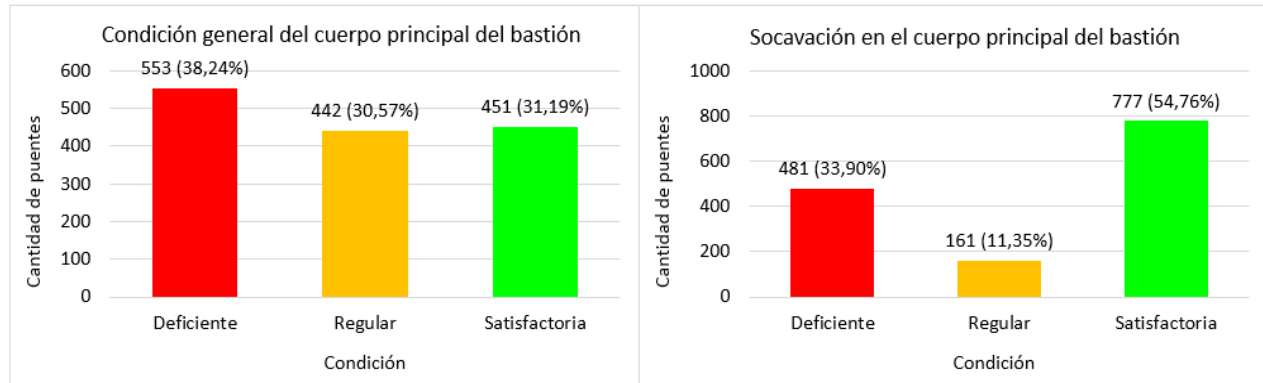
**Figura 21. Condición general de la viga principal de concreto y su peor daño.**

Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.

En este caso, no se incluye la losa, ya que, generalmente, se encuentra en buenas condiciones.



## Subestructura

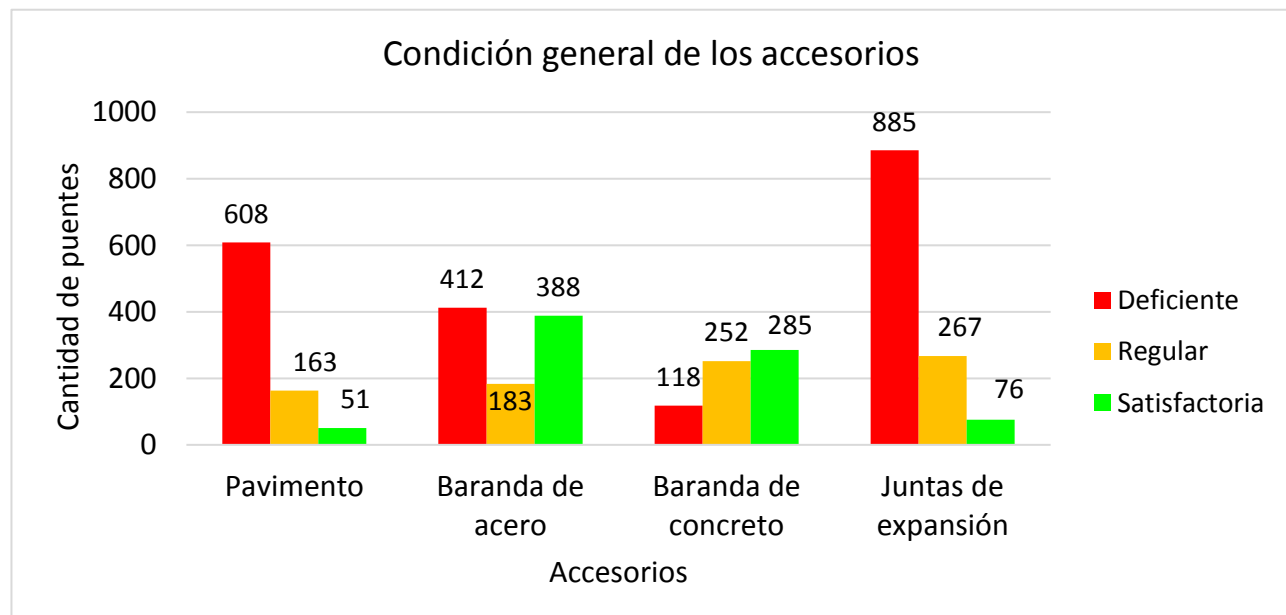


**Figura 22. Condición general del cuerpo principal del bastión y su peor daño.**

Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.

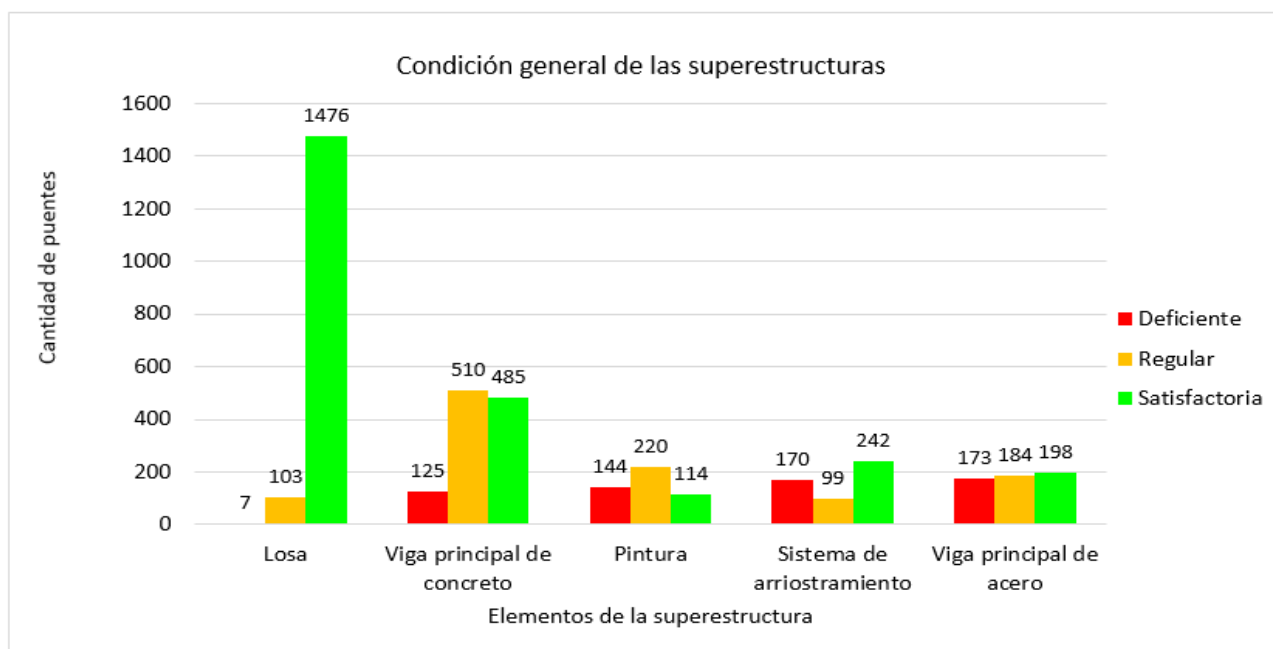
En este caso, tampoco se incluyeron el resto de los elementos de la subestructura, debido a que se encuentran en mejores condiciones. La condición general de los elementos que no se incluyeron se puede observar en las siguientes figuras que resumen la condición general de los elementos de un puente.

## Resumen de la condición general de los elementos



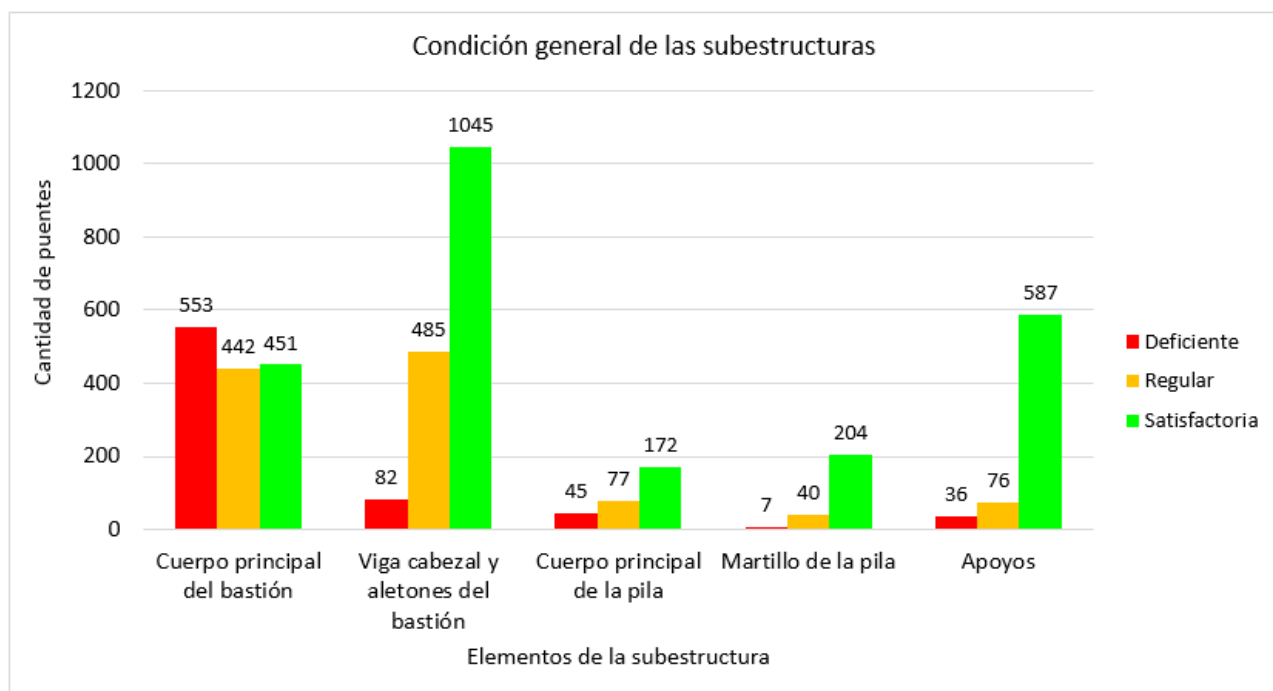
**Figura 23. Condición general de los elementos de los accesorios.**

Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.



**Figura 24. Condición general de los elementos de las superestructuras.**

Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.



**Figura 25. Condición general de los elementos de las subestructuras.**

Fuente: elaboración propia a partir de los datos disponibles en el PEEP.

# Análisis causa-efecto de los daños típicos

Conociendo los daños más comunes en los puentes del país y habiendo analizado gráficos acerca de su respectiva condición, se procede a realizar un análisis causa-efecto de los daños más comunes.

**Cuadro 5. Análisis causa-efecto de los daños más comunes.**

<b>Daño</b>	<b>Causa</b>	<b>Efecto</b>
1. Acero de refuerzo expuesto: Hace referencia al acero de refuerzo que debe estar embebido en una estructura de concreto reforzado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descascaramiento.</li> <li>• Paso constante e impacto de vehículos.</li> <li>• Malas prácticas constructivas. Por ejemplo: el exceso de vibrado genera una deficiente adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.</li> <li>• Mala calidad del concreto (muy poroso, baja resistencia, entre otras).</li> <li>• Delaminación (descascaramiento debido a la corrosión del acero) por filtración de agua a través de grietas, recubrimiento menor al estipulado por el ACI, entre otras.</li> <li>• Nidos de piedra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando el acero queda expuesto al ambiente se oxida, y si no se lleva a cabo un procedimiento de mantenimiento, el acero iniciará a corroerse, disminuyendo su sección transversal y comprometiendo la capacidad estructural del elemento.</li> <li>• Es importante resaltar que, la oxidación y corrosión no se da solamente en el acero expuesto, también se puede dar cuando se encuentra embebido en el concreto, debido a: recubrimiento insuficiente, grietas, pobre calidad del concreto, mala adherencia entre el concreto y el acero, entre otras.</li> </ul>
2. Eflorescencia: Se refiere al carbonato de calcio que se encuentra en la superficie de concreto. Se observa como manchas blancas en el concreto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El óxido de calcio (proveniente de la piedra caliza, componente del clínker) es soluble en agua y se disuelve para formar hidróxido de calcio, el cual puede migrar a la superficie del concreto por acción capilar a causa de la evaporación del agua en el concreto o la filtración del agua a través de las grietas. Cuando llega a la superficie reacciona con el dióxido de carbono y se forma el carbonato de calcio (no soluble en agua), el cual es el origen de las manchas blancas en el concreto.</li> <li>• Ambientes húmedos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No causa problemas estructurales, sin embargo, si se encuentra en una grieta significa que posiblemente existe corrosión en el acero.</li> <li>• Señal de humedad en el área.</li> <li>• Afecta la estética del puente.</li> </ul>
3. Nidos de piedra: Es la segregación del agregado grueso en	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se da debido a procesos de construcción inadecuados, por</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disminuye la durabilidad del concreto, debido a que no</li> </ul>

la mezcla de concreto.	<p>ejemplo: chorrear el concreto desde una altura considerable, alto revenimiento con mucha vibración o bajo revenimiento con poca vibración, exceso o inexistencia de vibrado. Esto causa que el concreto se segregue, formando los nidos de piedra al endurecerse.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Si el espaciamiento entre las varillas de acero o armadura y formaleta es menor al estipulado por el ACI, causa que el agregado grueso se quede atascado en estas zonas causando nidos de piedra.</li> </ul>	<p>desarrolla la resistencia de diseño, además, se acumula maleza, polvo, basura, entre otros, afectando a mediano plazo la vida útil del concreto.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El recubrimiento de concreto no protege adecuadamente el acero, por lo que se presentan problemas de corrosión en el acero de refuerzo.</li> </ul>
4. Descascaramiento del concreto: Es la delaminación o el desprendimiento de una superficie de concreto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Malas prácticas constructivas, por ejemplo, formación de nidos de piedra, o que el concreto no desarrolle la resistencia adecuada debido a que se omiten pruebas de control de calidad como la de resistencia a la compresión y revenimiento. También se puede dar por remoción prematura o inadecuada de la formaleta, curado insuficiente, entre otras.</li> <li>• Cuando el acero se corroe, aumenta su volumen, causando la delaminación del concreto, esta corrosión puede ocurrir por: recubrimiento insuficiente, grietas, pobre calidad del concreto, mala adherencia entre el concreto y el acero, entre otras. A la hora de la reparación, se debe tomar en cuenta que los límites de la corrosión suelen ser más grandes que el área de delaminación.</li> <li>• Contracción y expansión debido a cambios de temperatura y humedad.</li> <li>• En caso de que circulen cargas vehiculares mayores a las de diseño, ya que provocan compresión excesiva en el concreto.</li> <li>• Carbonatación: Sucede cuando el dióxido de carbono presente en el ambiente reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y con el hidróxido de calcio (alto pH), formando carbonato de calcio (pH más neutral). Cuando el concreto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si llega hasta el acero causa que este se oxide y posteriormente se corroa, afectando la capacidad estructural del elemento.</li> <li>• Si ocurre en una parte del concreto sometido a compresión puede significar la disminución de la capacidad soportante del elemento.</li> </ul>

	<p>disminuye su pH, disminuye su capacidad de proteger el acero. Según (Emmons, 1994), es un proceso muy lento que avanza aproximadamente 1 mm por año en concreto de buena calidad y para que suceda requiere de un cambio constante en los niveles de humedad del concreto (seco-húmedo). Cuando la carbonatación llega al acero, se corroe causando delaminación.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ataque de cloruros.</li> <li>• Filtración de agua a través de las grietas.</li> </ul>	
<p>5. Juntas obstruidas: Se refiere a que la junta ha sido obstruida, ya sea por suciedad, escombros, sobrecapas de asfalto, entre otros.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Principalmente se da por prácticas de mantenimiento inadecuadas, por ejemplo, la colocación de sobrecapas de asfalto.</li> <li>• Falta de limpieza para la remoción de suciedad, escombros, maleza, piedras, entre otros.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impide el movimiento adecuado de la junta disminuyendo su funcionalidad. En el caso de sobrecapas de asfalto, se generan grietas en la superficie de ruedo a lo largo de la junta, además, que impide darle mantenimiento a la junta.</li> </ul>
<p>6. Corrosión: Es una disminución en la sección transversal del elemento de acero.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falta de mantenimiento a los elementos de acero, se debe remover la oxidación para evitar el inicio del proceso de corrosión.</li> <li>• Falta de protección superficial como pintura anticorrosiva.</li> <li>• Comúnmente, se observa en las vigas debido a la filtración de agua a través de la junta y drenajes, lo cual acelera el proceso de corrosión.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuando el refuerzo de acero se corroe, se afecta la capacidad estructural del elemento. Según (Emmons, 1994), en vigas a flexión a partir de un 1,5 % de corrosión la resistencia empieza a disminuir y con una corrosión de 4,5 %, la capacidad última de la viga se reduce aproximadamente 12 %.</li> <li>• El elemento disminuye la capacidad de soportar cargas.</li> <li>• En caso de sistemas de arriostramiento, también causa la pérdida de estabilidad lateral.</li> </ul>
<p>7. Oxidación: Se presenta con un color café-rojizo en la superficie de acero.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es causada por una reacción química debido al contacto del acero con el medio ambiente, específicamente con la humedad del aire y el agua.</li> <li>• En ambientes húmedos o marinos (alto contenido de cloruro de sodio), es importante tratar la oxidación con la mayor brevedad posible, ya que estos factores aceleran la oxidación y posteriormente la corrosión.</li> <li>• En vigas y sistemas de arriostramiento, comúnmente se</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No causa problemas estructurales, sin embargo, en caso de no tratarse empieza a aparecer la corrosión.</li> <li>• Afecta la estética del puente.</li> </ul>

	observa cerca de las juntas (filtración de agua).	
8. Filtraciones de agua en juntas: Se refiere a la filtración de agua a través de la junta, es decir, la junta no cumple con su función impermeable.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instalación inadecuada de la junta.</li> <li>• Deterioro de la junta por estar expuesta a la intemperie y por el paso constante de vehículos.</li> <li>• Inadecuado diseño de la junta acompañado con la ausencia de sello.</li> <li>• Drenajes obstruidos, inexistentes o mal contruidos.</li> <li>• Falta de mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deterioro (eflorescencia, oxidación, corrosión) de los elementos adyacentes a la junta, tales como, apoyos, losa, vigas, bastiones, etc, por esta razón, es importante corregir este daño, antes de aplicar procedimientos de mantenimiento a los elementos adyacentes a la junta.</li> <li>• Corrosión en los elementos de acero de la junta.</li> </ul>
9. Grietas en una dirección: Se refiere a las grietas que se generan en los diferentes elementos de concreto, con excepción de las barandas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esfuerzos de flexión o cortante debido a las cargas vivas y muertas. En vigas las grietas de flexión son perpendiculares al refuerzo longitudinal e inician en las zonas que trabajan a tracción. En cambio, las grietas por cortante son diagonales y comúnmente ocurren en el alma de la viga.</li> <li>• Contracción y expansión debido a cambios de temperatura y humedad.</li> <li>• Falta de curado en el concreto.</li> <li>• Retiro prematuro de la formaleta.</li> <li>• Sismos.</li> <li>• Asentamiento de la cimentación.</li> <li>• En bastiones, también se pueden dar por empuje de suelo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtración de agua u otras sustancias a través de las grietas, afectando el acero de refuerzo. Este se oxida y si no se trata se corroe afectando la capacidad estructural del elemento.</li> <li>• Afectan la vida útil del elemento.</li> <li>• Dependiendo del ancho de la grieta se puede afectar la capacidad de resistencia de cargas del elemento.</li> <li>• Es un indicativo de futuros problemas en el elemento, por esta razón, es importante sellarlas.</li> </ul>
10. Sobrecapas de pavimento: Hace referencia a la colocación de nuevas capas de asfalto sobre la superficie de rudo existente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inadecuadas prácticas de mantenimiento debido a falta de conocimiento de las entidades encargadas de dicho mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumentan considerablemente las cargas muertas del puente. Una sobrecapa de 7 cm en un ancho de vía de 10 m, una longitud de tramo de 30 m y considerando una densidad de 1,91 ton/m<sup>3</sup> del pavimento, equivale a una carga total 40, 11 ton, la cual es similar a la carga máxima de un vehículo que pasa por el puente (MOPT, 2007).</li> <li>• Afecta el funcionamiento adecuado de las juntas de expansión.</li> <li>• Obstruye los drenajes, lo cual también representa un peligro a los conductores porque el agua se empoza en el puente.</li> <li>• Se reduce la capacidad de carga viva que puede soportar el puente.</li> </ul>

11. Socavación en el bastión: Se refiere a la pérdida de material en los cimientos de los bastiones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosión del suelo o pérdida de material a causa de la acción del agua.</li> <li>• Remolinos que se forman cerca de la cimentación del bastión.</li> <li>• Insuficiente capacidad hidráulica.</li> <li>• Cimentaciones con insuficiente desplante o carecen de protección.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de estabilidad del bastión, comprometiendo toda la estructura.</li> <li>• Asentamientos diferenciales.</li> <li>• Derrumbes en los taludes pudiendo llevar al colapso parcial o total del talud.</li> <li>• Afecta la capacidad de carga de la fundación.</li> <li>• Daños en las fundaciones por el impacto de troncos y rocas, que inclusive pueden llegar a fracturar los pilotes.</li> </ul>
12. Faltante o ausencia en barandas: Hace referencia a la pérdida parcial o total de elementos de la baranda.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto de vehículos en la baranda.</li> <li>• Robos.</li> <li>• No se colocó.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un peligro para los usuarios del puente (peatones y vehículos), ya que al no existir esta protección, pueden caer al vacío.</li> </ul>
13. Oxidación en sistemas de arriostramiento.	Igual a daño 7.	Igual a daño 7.
14. Deformación: Es el cambio con respecto al tamaño, forma o posición original ya sea de la baranda acero o de la viga principal de acero.	<p><u>Barandas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto de vehículos.</li> <li>• Falla de la conexión entre la baranda y el sistema de piso.</li> <li>• Dilatación térmica.</li> </ul> <p><u>Viga principal de acero</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Asentamiento de la subestructura.</li> <li>• Sobrecarga.</li> <li>• Colisión de vehículos.</li> <li>• Impacto de troncos y rocas en crecidas del río.</li> <li>• Insuficiente arriostramiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En el caso de las barandas es importante que no exista deformación porque disminuye la resistencia del elemento para soportar el impacto de los vehículos.</li> <li>• En el caso de la viga principal de acero, puede afectar la resistencia del elemento.</li> </ul>
15. Agrietamiento de la baranda de concreto: Se refiere a las grietas que se generan en las barandas de concreto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto de vehículos.</li> <li>• Sismos.</li> <li>• Contracción y expansión debido a cambios de temperatura y humedad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Filtración de agua u otras sustancias a través de las grietas, afectando el acero de refuerzo. Este se oxida y si no se trata se corroe afectando la capacidad del elemento. Es importante que la resistencia de las barandas esté intacta, ya que debe soportar el golpe de vehículos y evitar que estos caigan al vacío.</li> <li>• Afectan la vida útil del elemento.</li> </ul>
16. Descascaramiento de la pintura: La pintura es uno de los principales medios para proteger los elementos de acero	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mala calidad de la pintura.</li> <li>• Pintado inadecuado del elemento.</li> <li>• Es común verlo cerca de las juntas por la filtración de agua.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los elementos de acero pierden su protección superficial por lo que con el tiempo puede empezar el proceso de oxidación y posteriormente el de corrosión.</li> </ul>

contra la oxidación y corrosión. Este daño se da cuando la pintura se desprende del elemento de acero.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si no se remueve la oxidación antes de pintar ocurre el descacaramiento de la misma.</li> <li>• Impactos en crecidas del río, por vehículos, vandalismo, durante el proceso constructivo, entre otros.</li> </ul>	
--	--	--

Fuente: elaboración propia a partir del Manual de Inspección de Puentes del MOPT, la Propuesta de modelo de priorización y metodologías para la intervención de losas, juntas y apoyos en puentes, el Concrete Repair and Maintenance Illustrated y a una entrevista realizada a los ingenieros inspectores del PEEP.

## Procedimientos de mantenimiento

Seguido de la realización del análisis causa-efecto de los daños más comunes, se procede a proponer procedimientos de mantenimiento para cada uno de los daños especificados anteriormente. A causa de esto, se inició con la redacción del Manual para el Mantenimiento de Puentes, que se puede encontrar en el Apéndice 3 del presente proyecto. Específicamente, los procedimientos se pueden encontrar en el Capítulo 3 del mencionado manual.



# Análisis de resultados

En el Manual de Inspección de Puentes del MOPT existen 83 daños (las inspecciones se realizan de acuerdo con lo estipulado en este manual), sin embargo, estos daños se pueden repetir en los elementos, por esta razón, se determinó que tan solo existen 43 daños diferentes.

Los daños más comunes se pueden observar en el Cuadro 4. Se encuentra que la mayoría de los daños que se pueden dar en el concreto son comunes. Estos daños son: eflorescencia, grietas en una dirección, acero de refuerzo expuesto, nidos de piedra, descascaramiento y agrietamiento de la baranda. La razón por la que estos daños son repetitivos es porque aproximadamente dos terceras partes de los puentes del inventario nacional son de concreto. La tercera parte restante son puentes de acero, por esta razón, también se encuentra la oxidación y la corrosión como un daño común.

Las juntas de expansión se encuentran directamente expuestas al paso constante de vehículos, agua de lluvia, aceites, otros fluidos, polvo, piedras, escombros, entre otros. Por estas razones, las juntas se desgastan y se deterioran por lo que no es extraño encontrarlas entre los daños repetitivos. Añadido a esto, se debe resaltar que las juntas obstruidas se encuentran directamente relacionadas con las sobrecapas de pavimento (daño común), esto porque las sobrecapas obstruyen las juntas y drenajes. Las sobrecapas de pavimento suelen utilizarse de forma inadecuada como una técnica de reparación o mantenimiento de daños.

La socavación es otro problema común, ya que el agua en movimiento de los ríos constantemente está lavando el material alrededor de los cimientos de los bastiones y pilas, además, las crecidas de los ríos y en muchos casos, la insuficiente capacidad hidráulica acelera el proceso.

El faltante o ausencia y deformación de barandas se da principalmente al impacto de vehículos. También, es frecuente el descascaramiento de la pintura, que se da por el

uso de pinturas de mala calidad, vandalismo o porque los elementos de acero se pintan sin haber eliminado primero la oxidación. Cabe destacar que la mayoría de los daños se dan por malas prácticas constructivas o falta de mantenimiento.

En el Cuadro 5, se puede encontrar una explicación de cada daño y un análisis más detallado de sus posibles causas y consecuencias.

Posterior al análisis de los daños más comunes, se analiza la condición general de los elementos en peor estado y su respectivo daño en peores condiciones.

Existen 822 puentes que tienen una superficie de rodamiento pavimentada. Según la Figura 14, se puede observar que, de estas superficies, hay un 73,97 % que se encuentran en una condición deficiente y esto se debe principalmente a sobrecapas de pavimento, es decir, malas prácticas de mantenimiento.

Es preocupante determinar que tan solo un 6,20 % de las superficies de rodamiento pavimentadas en los puentes se encuentran en buen estado, es decir, que sus daños a la hora de la inspección se calificaron como uno o dos. Actualmente, en nuestro país las sobrecapas de pavimento son muy frecuentes porque se utilizan de forma inadecuada como un método de mantenimiento, es decir, se emplean en situaciones como: para mejorar la superficie de rodamiento sin antes remover la sobrecapa anterior, para sellar agujeros en la losa a pesar de que no es un material impermeable por lo que no se detiene la corrosión en el acero de refuerzo (tampoco se remueve previamente la corrosión existente), se coloca de forma incorrecta porque se obstruyen las juntas y drenajes, entre otras.

Es importante tomar medidas para evitar la colocación errónea de sobrecapas de pavimento y remover las existentes ya que, al aumentar la carga muerta, se disminuye la capacidad del puente de soportar carga viva, además, impide el funcionamiento adecuado del puente porque al sellar los drenajes, bajo condiciones lluviosas, el agua se empoza en la superficie de rodamiento lo

que significa un peligro para los conductores. Tampoco permiten el funcionamiento adecuado de las juntas de expansión.

El daño peor evaluado en los elementos de acero es la oxidación, esto se puede observar en las Figuras 15, 18, 19 que corresponden a las barandas, viga principal y sistema de arriostramiento. Esto se da por la falta de mantenimiento en los puentes y es un daño preocupante porque, por ejemplo: en la viga principal y en los sistemas de arriostramiento (elementos estructurales) se encuentra que por estos elementos tienen una condición deficiente. Es decir, el 50 % o más de los elementos están cubiertos por oxidación. Es sumamente importante tratar estos graves problemas de oxidación porque posteriormente los elementos empiezan a corroerse y comprometen la capacidad estructural del puente. También, se debe mencionar que en estos elementos el segundo daño peor evaluado es la corrosión, el cual es un problema más delicado y que se debe tratar prontamente porque reduce la capacidad estructural del elemento.

Tal y como se observa en la Figura 16, el daño peor evaluado en las barandas de concreto es el acero expuesto. Se determina que existen 262 (40,56 %) barandas de concreto con acero expuesto en condiciones regular o deficiente, es decir, que ya tienen acero expuesto. En un 23,07 % de estos casos, el acero se encuentra oxidado o corroído, por lo que es importante restaurar el estado de estas barandas para que puedan cumplir adecuadamente su función primordial, la cual es brindar seguridad al usuario, evitando que los vehículos caigan al vacío, redireccionándolos a la vía.

El estado general de las juntas de expansión es alarmante, esto porque en la Figura 17, se observa que un 72,09 % de las juntas existentes se encuentran en condiciones deficientes. Esta situación ocurre principalmente debido a dos factores, la filtración de agua a través de las juntas o porque se encuentran obstruidas. Como se mencionó anteriormente, el principal problema de obstrucción de juntas son las sobrecapas de pavimento y en esta figura queda evidenciado porque, la calificación 4 para las juntas obstruidas no existe y la calificación 5 se refiere a que la junta se encuentra obstruida por una sobrecapa de pavimento, es decir, existen 664 (54,38 %) juntas que se encuentran en condición deficiente (calificación 4 y 5), porque están obstruidas por una sobrecapa de pavimento.

También, se observa que 620 (51,07 %) juntas se encuentran en condición deficiente con respecto a la filtración de agua, lo cual significa que en las inspecciones se han observado filtraciones de agua en más de un 50 % del muro y la viga cabecial. Esta situación se puede deber a la instalación inadecuada de las juntas, falta de mantenimiento o diseño inadecuado, y se debe reparar porque las filtraciones de agua aceleran el deterioro de los elementos adyacentes, ya sean de concreto (eflorescencia, filtración de agua a través de las grietas causando la corrosión del acero de refuerzo y posteriormente la delaminación del concreto) o acero (oxidación y corrosión).

Según lo que se observa en la Figura 20, la pintura en los puentes de acero también se encuentra en condiciones deplorables, tan solo 114 (23,85 %) puentes de acero tienen la pintura en buena condición. El peor daño hallado es el descascamiento, y se determinó que aproximadamente una tercera parte de los puentes con pintura tienen un descascamiento considerable. Esta problemática se da por el empleo de pintura de baja calidad, vandalismo, o malas prácticas de mantenimiento, por ejemplo: pintar los elementos de acero sin haber eliminado el óxido anteriormente. Su principal consecuencia es que el acero pierde su protección contra la oxidación.

La viga principal de concreto se encontró en mejores condiciones, el daño peor evaluado fue la eflorescencia. Según la Figura 21, dos terceras partes de los puentes con vigas principales de concreto mostraron eflorescencia. Según (Molina), la eflorescencia es un depósito de sales (carbonato de calcio), no soluble en agua, que se forma en la superficie de concreto y que gradualmente continúa reaccionando con el agua y el dióxido de carbono hasta que se forma bicarbonato de calcio, el cual sí es soluble en agua, por esta razón, no es un daño permanente y va a ser eliminado progresivamente por la acción de la lluvia o viento. Por lo tanto, las manchas blancas se ven porque la reacción del carbonato de calcio para convertirse en bicarbonato de calcio es más lenta que la reacción que sucede al formarse el carbonato de calcio. Como se menciona anteriormente, la eflorescencia no es un daño permanente y por esta razón no es un daño estructural, sin embargo, es un indicativo que existe humedad en el sitio. Si la eflorescencia se encuentra en grietas es probable que exista corrosión en el acero de refuerzo. Considerando

que la eflorescencia no es un daño estructural, se consideró prudente mencionar el segundo daño peor evaluado, el cual fue los nidos de piedra. Se encontró nidos de piedra en aproximadamente una tercera parte de los puentes con vigas principales de concreto. Este es un problema que se da debido a malas prácticas constructivas y es importante repararlo porque disminuye la durabilidad de los elementos de concreto.

En la subestructura, el elemento en peores condiciones es el cuerpo principal del bastión. Según la Figura 22, tan solo un 31,19 % de estos elementos se encuentran en una condición satisfactoria y esto se debe principalmente a problemas de socavación en los cimientos del bastión. Precisamente, se determina que hay un 33,9 % de los bastiones que presentan condiciones deficientes de socavación, es decir, la fundación ya se logra observar debido a este daño. Es sumamente importante resolver los problemas de este tipo porque el bastión puede perder estabilidad llegando a comprometer toda la estructura. También puede dar problemas como: asentamientos diferenciales, fractura de los pilotes por el impacto de rocas y troncos y pérdida de la capacidad de carga.

En los resúmenes de las Figuras 23, 24 y 25, se pueden observar las condiciones generales de los elementos de los componentes de un puente. Se determina que los accesorios son los elementos en peores condiciones, esto posiblemente sucede porque estos elementos se encuentran expuestos directamente al paso repetitivo, el impacto o la liberación de aceites, hidrocarburos, entre otros, de los vehículos. Además, las personas con mayor facilidad pueden dañar o robarse (partes de la baranda) los accesorios.

En el caso de la superestructura se encontró que la losa es el elemento en mejores condiciones, sin embargo, existe la posibilidad que sea una estadística engañosa. Esto porque los gráficos están basados en inspecciones visuales y en muchas ocasiones las losas se encuentran cubiertas por sobrecapas de pavimento, situación que imposibilita la inspección en la parte superior de la losa. Se menciona esto porque es una costumbre habitual colocar sobrecapas de asfalto sin reparar los daños en la losa previamente.

En la subestructura, tal y como se menciona anteriormente, el elemento en peores condiciones es el cuerpo principal del bastión por problemas de socavación; situación que se repite en el cuerpo

principal de la pila, pero en menor escala. En el caso de la viga cabezal y aletones del bastión y el martillo de la pila se repite el comportamiento de la viga principal de concreto, donde la eflorescencia y los nidos de piedra son los daños más marcados.

No obstante, en la subestructura el tema más importante es la condición de los apoyos. En la Figura 25, se observa que los apoyos son los elementos mejor evaluados, sin embargo, gracias a los comentarios hechos por los ingenieros inspectores de puentes en los informes de inspección visual de daños, se sabe que la condición actual de los apoyos es totalmente distinta. El Manual de Inspección de Puentes del MOPT no permite una evaluación adecuada de los apoyos, es decir, los daños más comunes no son evaluados. Los daños que se encuentran frecuentemente son oxidación, corrosión, sedimentos cubriendo los apoyos y el agrietamiento o aplastamiento de los apoyos de neopreno. Sin embargo, los daños que se evalúan son: desplazamiento, inclinación, deformación y rotura de pernos de los apoyos. Por esta razón, es importante que el Manual de Inspección de Puentes actualice la forma de evaluar los apoyos, además, se debe modificar el SAEP para que puedan registrar los daños mencionados anteriormente.

Por último, se debe destacar que los daños peor evaluados en los elementos fueron encontrados también como daños comunes. Esta es una razón importante por la cual se busca proponer procedimientos de mantenimiento para solucionar estos daños y mejorar la condición actual de los puentes del país.

# Conclusiones

- Se logró recopilar información acerca de los componentes de un puente y sus definiciones, la gestión actual de los puentes en Costa Rica, composición del inventario nacional de puentes y los beneficios que un programa de conservación de puentes puede traer al país.
- Se determinó que en el Manual de Inspección de Puentes existen 43 daños diferentes y se logró determinar su repetitividad en el inventario nacional de puentes.
- De acuerdo con el análisis realizado de la condición de los elementos de los puentes del inventario nacional, se encuentra que:
  1. De los 822 puentes que tienen una superficie de rodamiento pavimentada, hay 604 (73,48 %) que se encuentran en una condición deficiente debido a sobrecapas de pavimento, es decir, malas prácticas de mantenimiento.
  2. El daño peor evaluado en los elementos de acero es la oxidación. Entre un 43 % y 46 % de los puentes que están compuestos por vigas principales y/o sistema de arriostramiento, tienen un 50 % o más de oxidación en la superficie de estos elementos. Esto se da por la falta de mantenimiento.
  3. Hay 262 (40,56 %) barandas de concreto que cuentan con acero de refuerzo expuesto.
  4. Un 72,09 % de las juntas existentes se encuentran en condiciones deficientes. Existen 664 (54,38 %) que se encuentran en condición deficiente porque están obstruidas por una sobrecapa de pavimento. Añadido a esto, hay 620 (51,07 %) juntas que se encuentran en condición deficiente con respecto a la filtración de agua, lo cual significa que se han observado filtraciones de agua en más de un 50 % del muro y la viga cabezal. Las juntas son los elementos peor evaluados de los accesorios.
- 5. Tan solo 114 (23,85 %) puentes de acero tienen la pintura en buena condición.
- 6. Hay 481 (33,9 %) bastiones que presentan condiciones deficientes de socavación, es decir, se logra observar la fundación debido a este daño y es por esto, el elemento peor evaluado de la subestructura.
- 7. El componente (accesorios, subestructura o superestructura) del puente en peores condiciones son los accesorios.
- Se analizaron las posibles causas y consecuencias de los 16 daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes.
- Se redactó el Manual para el Mantenimiento de Puentes, en el que se propusieron y validaron procedimientos de mantenimiento para los 16 daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes.
- No se logró investigar acerca de empresas constructoras que puedan ejecutar los procedimientos de mantenimiento propuestos.

# Recomendaciones

- Recomendaciones para el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, para mejorar la gestión de puentes del país:
  1. Agregar daños para calificar de forma adecuada los apoyos, esto porque, sus daños más comunes no están siendo evaluados (esto se sabe gracias a los comentarios hechos por los ingenieros inspectores de puentes en los informes de inspección visual de daños). Lo que da como resultado que en este momento se encuentran evaluados erróneamente como los elementos en mejores condiciones de la subestructura.
  2. Cambiar el grado 1 de la calificación de acero expuesto de “Descascaramiento en la superficie de concreto” a “No hay acero de refuerzo expuesto”. Esto porque, es el único daño que no tiene una evaluación en caso de que no exista el daño, es decir, aunque el elemento se encuentre en buen estado, se debe evaluar como que existe descascaramiento en la superficie de concreto y debido a esta situación, se encuentra como el daño más repetitivo.
  3. Existen dos tablas de oxidación, una para barandas y viga principal de acero (permite mayor oxidación) y otra para el sistema de arriostramiento. Se recomienda evaluar la viga principal de acero junto con el sistema de arriostramiento porque al ser un elemento estructural se debe permitir un grado menor de oxidación.
- Se recomienda modificar el SAEP para que pueda registrar los cambios mencionados anteriormente. Además, que se modifique para poder llevar el registro y estadística acerca de trabajos de mantenimiento o rehabilitación, lo cual es fundamental para poder adoptar un programa de conservación de puentes.
- Se recomienda que el PEEP en las inspecciones visuales de campo, mida el ancho de la abertura de cada junta para facilitar la planificación de las actividades de mantenimiento de los puentes. Esta información es importante para conocer el tipo de junta que se debe instalar, además, permite conocer si la junta instalada actualmente es la correcta de acuerdo con el ancho de la abertura. Por ejemplo, según el Manual de Inspección de Puentes, es incorrecto instalar una junta de placas de acero deslizante en una abertura menor a 101 mm (4 pulgadas).
- Se recomienda que el país adopte un programa de conservación de puentes. A pesar de que esto implica un costo constante para llevar a cabo las actividades de mantenimiento, el costo anual a lo largo de la vida útil del puente se disminuye, debido a que se aumenta la vida de servicio y las intervenciones son menos complejas.
- Se recomienda actualizar el SAEP para tomar en cuenta los criterios propuestos por Garita, Ortiz, & Mora-Mora (2018), tales como: un modelo de fiabilidad, inteligencia de negocios, aplicación para dispositivos móviles, gestión del presupuesto, entre otros. De esta forma, el SAEP lograría encontrarse a nivel mundial entre los sistemas más completos para el monitoreo de puentes.
- Se recomienda concientizar a las entidades encargadas del mantenimiento de los puentes acerca de la correcta forma de llevar a cabo dicho mantenimiento, por ejemplo, es incorrecto colocar sobrecapas de pavimento porque aumenta la carga muerta y obstruye las juntas y drenajes. Es importante recalcar esto, porque se encuentra que las prácticas inadecuadas

de mantenimiento son sumamente comunes. De los puentes que cuentan con una superficie de rodamiento pavimentada, hay un 73,97 % que cuentan con sobrecapas de pavimento.

- Se recomienda seguir trabajando en el Manual de Mantenimiento de Puentes propuesto para que el país pueda llegar a tener un manual que incluya procedimientos para intervenir la totalidad de los daños existentes.

# Referencias

- Asamblea Legislativa. (1998). *Ley 7798, Creación del Consejo Nacional de Vialidad*.
- Castillo Barahona, R., & Murillo Madrigal, J. A. (Marzo de 2014). El sistema informático para la administración de estructuras de puentes de Costa Rica (SAEP): ¿Vamos en la dirección correcta?. Boletín Técnico. Volumen 5 No. 52, Unidad de Puentes, PITRA, LanammeUCR. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/871/52.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Emmons, P. H. (1994). *Concrete Repair and Maintenance Illustrated*. Massachusetts: R.S. Means Company, Inc. Obtenido de <http://civil.emu.edu.tr/courses/civl586/Concrete%20Repair%20and%20Maintenance%20Illustrated,%20PH%20Emmons.pdf>
- Federal Highway Administration. (Agosto de 2011). *Maintaining a State of Good Repair Using Cost Effective Investment Strategies*. Obtenido de <https://transportation.ky.gov/Maintenance/Documents/AASHTO%20Presentations/Bridges%20Technical%20Working%20Group/Bridge%20Preservation%20Guide-5-12-2011.pdf>
- Federal Highway Administration. (2018). *Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/guide/guide.pdf>
- Garita, C., Ortiz, G., & Mora-Mora, J. (2018). Análisis de requerimientos para un sistema de monitoreo de puentes. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(4), pág. 63-72. Obtenido de [http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/3965/3548](http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3965/3548)
- Grupo de investigación eBridge. (2019). *Informe del inventario de puentes en rutas nacionales de febrero del 2019*.
- JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY (JICA). (Marzo de 2018). *THE PROJECT FOR CAPACITY ENHANCEMENT IN ROAD MAINTENANCE PHASE II. Volume I: Main Report*. Obtenido de [http://open\\_jicareport.jica.go.jp/pdf/12306072.pdf](http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/12306072.pdf)
- Molina, E. (s.f.). Eflorescencia en adoquines. *En Concreto*, 26,27. Obtenido de [http://cfia.or.cr/digital\\_flash/241/descargas/enconcreto.pdf](http://cfia.or.cr/digital_flash/241/descargas/enconcreto.pdf)
- MOPT. (2007). *Lineamiento para Mantenimiento de Puentes*.
- MOPT. (Enero de 2007). *Manual de Inspección de Puentes*. Obtenido de [https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf-963e-8d8b31540a79/manual\\_inspeccion2007.pdf?MOD=AJPERES](https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf-963e-8d8b31540a79/manual_inspeccion2007.pdf?MOD=AJPERES)
- MOPT. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010)*. Obtenido de <https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/28a27ca9-2ec2-49ae-838c-6f89e21d43b4/CR-2010.pdf?MOD=AJPERES>
- MOPT. (2015). *MANUAL DE ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSERVACIÓN DE CAMINOS, CARRETERAS Y PUENTES (MCV-2015)*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/847/Manual%20MCV-2015%20Oficial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Muñoz, J., Agüero, P., Vargas, S., Villalobos, E., Vargas, L., Barrantes, R., & Loria, G. (Octubre de 2015). *Guía para la determinación de la condición de puentes en Costa Rica mediante inspección visual*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/626/Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20condici%C3%B3n%20en%20puentes%20mediante%20inspecci%C3%B3n%20visual.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ortiz, G. (Setiembre de 2012). *eBridge: Predicción remota de falla en puentes*. Obtenido de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/5149>
- Ortiz, G., & Páez, G. (10 de Junio de 2019). Propuesta para la valoración del estado y costeo de puentes. Cartago.
- Páez Gonzáles, B. G. (Enero de 2017). Propuesta de modelo de priorización y metodologías para la intervención de losas, juntas y apoyos en puentes. Proyecto Final de Graduación para optar por el título de Máster en Ingeniería Vial. Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica. 135 p.
- Pereira, R., & Alfaro, A. (27 de Febrero de 2019). Causa y efecto de los daños más comunes. (T. Winiker, Entrevistador)
- Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP). (2014-2018). *Informes de inspección visual y de inventario*. Cartago.
- Ramírez-Alméciga, C. (2016). Comparación entre el Programa de Evaluación de Puentes de “e-Bridge” en Costa Rica y el Sistema de Administración de Puentes en República Checa. *Revista Tecnología En Marcha*, 29(6), 79-85. Obtenido de [http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/2904/pdf](http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/2904/pdf)
- Tecnológico de Costa Rica. (2013). *CONTRATO TEC-CONAVI*. Obtenido de <https://www.tec.ac.cr/contrato-conavi-tec>
- Umaña, J. (8 de Febrero de 2019). *Resultados de eBridge son analizados en la Asamblea Legislativa*. Obtenido de Hoy en el TEC: <https://www.tec.ac.cr/hoyeneltec/2019/02/08/resultados-ebridge-son-analizados-asamblea-legislativa>
- White, K., Minor, J., & Derucher, K. (1992). *Bridge Maintenance, Inspection and Evaluation. Second Edition*. New York: Marcel Dekker, Inc.

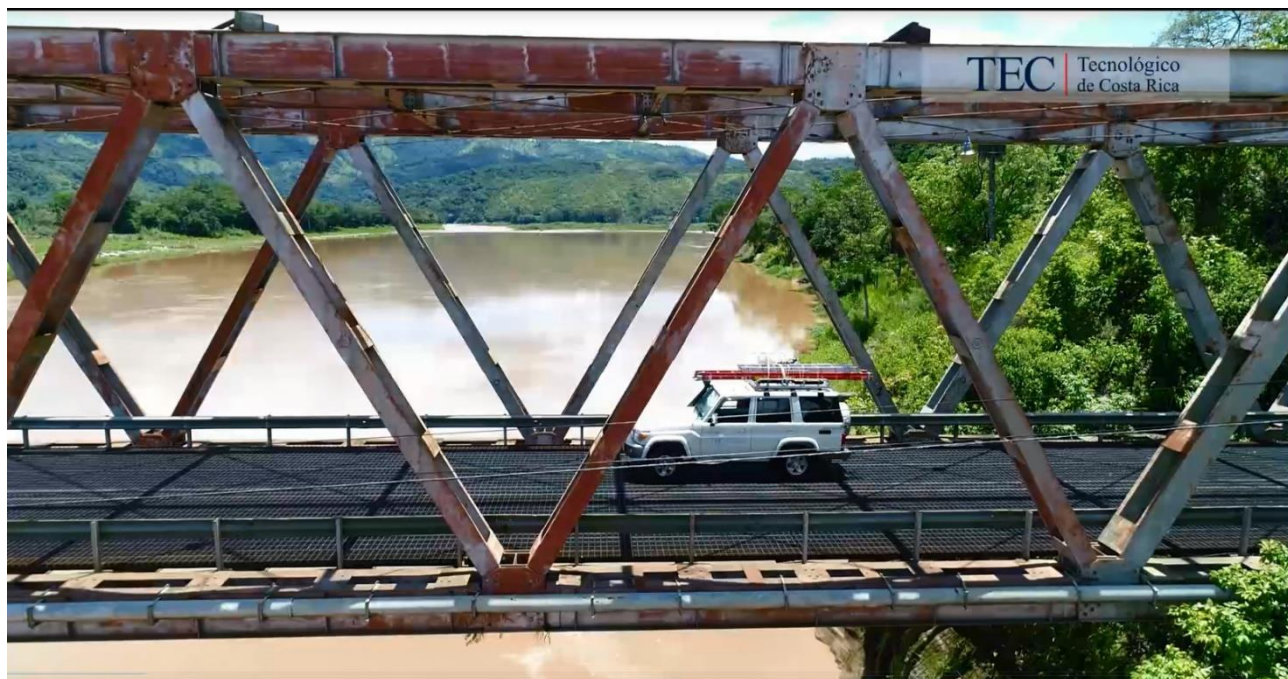


# Anexos

El anexo que se presenta corresponde a:

1. Propuesta para la valoración del estado y costeo de puentes (Tomado de Ortiz & Páez, 2019).

## **Anexo 1. Propuesta para la valoración del estado y costeo de puentes.**



## Propuesta para la valoración del estado y costeo de puentes

Fecha de emisión:

**10/Jun./2019**

**TEC** | Tecnológico de Costa Rica **ebridge**

**conavi**  
Vialidad

Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Construcción

Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción

Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes

Contactos:

Tel: (506) 2550-9088

email: [eBridge@tec.ac.cr](mailto:eBridge@tec.ac.cr)

[www.tec.ac.cr](http://www.tec.ac.cr)

**1. Título:** Propuesta para la valoración del estado y costeo de puentes.

**2. Descripción:** El siguiente documento propone una metodología para la valoración del estado de los puentes de rutas nacionales y una primera aproximación para determinar el costo probable de dichas intervenciones. Ambas son propuestas de partida para que la Administración valore y tome decisiones. Estas propuestas se basan en la información disponible en el Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP) y la información recopilada por el Tecnológico de Costa Rica.

**3. Institución desarrolladora**

Tecnológico de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería en Construcción  
Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción  
Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes

**4. Institución propietaria**

La información presentada en este informe es propiedad del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI).

**Contacto:** Ing. Adrián Sanchez

**5. Objetivo del informe:** Proponer a la Administración (CONAVI – MOPT) una metodología de valoración y aproximación a los costos de atención de los principales datos del inventario de puentes de las rutas nacionales de Costa Rica, utilizando la información disponible en SAEP.

**6. Alcance del informe:** En este informe se propone una metodología de valoración y costeo para las intervenciones a realizar en puentes de rutas nacionales, con los datos obtenidos del inventario de puentes de rutas nacionales de Costa Rica, inspección y evaluación de 1,670 estructuras, realizado por el Tecnológico de Costa Rica. Las inspecciones a estas estructuras se realizaron entre los años 2014 al 2018. La información correspondiente a cada una de las estructuras fue ingresada al Sistema de Administración de Puentes (SAEP), y puede ser visualizada a través de la página Web del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, a excepción de las calificaciones de daño, las cuales por aspectos de seguridad son administradas por el MOPT y el CONAVI. Dichos análisis se hacen entregan en formato XLS.

Este informe se presenta a solicitud del CONAVI.



Ing. Giannina Ortiz Quesada, MSc.  
Coordinadora

Programa de Evaluación de Estructura de Puentes



Ing. Gerardo Páez González, MSc.  
Asistente Técnico

Programa de Evaluación de Estructura de Puentes

## Tabla de contenidos

<b>Introducción</b>	<b>4</b>
<b>Valoración y costeo de las estructuras - Programa de Evaluación de Estructura de</b>	
<b>Puentes - PEEP:</b>	<b>4</b>
<b>Inspección visual</b>	<b>5</b>
Metodología de valoración	7
<b>Propuesta para estimación de costos de intervención en puentes</b>	<b>9</b>
Posibles intervenciones de acuerdo a la calificación global del puente	9
Propuesta de estimación de costos	10
Costo de la intervención	10
<b>Consideraciones finales</b>	<b>13</b>

## Introducción

Este informe se presenta a solicitud del Consejo Nacional de Vialidad (CONAVI) con el fin de contar con insumos para la toma de decisiones para la intervención de los puentes de rutas nacionales.

El Tecnológico de Costa Rica, a través del Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes, elaboró entre los años 2014 al 2018 el primer inventario y evaluación visual de daños de puentes de rutas nacionales, de acuerdo al Manual de Inspecciones del MOPT (2007) y dicha información se encuentra en una base de datos en el Sistema de Administración de Estructuras de Puentes (SAEP).

Con el fin de poder atender los puentes más críticos de este inventario y que el país pueda establecer un verdadero Sistema de Gestión de Puentes, es necesario la intervención de los mismo en etapas, la primera sería una intervención de los puentes en estado deficiente considerando no sólo su estado sino un posible costo de su intervención.

## Valoración y costeo de las estructuras - Programa de Evaluación de Estructura de Puentes - PEEP:

Según informe del inventario y evaluación visual de daños elaborado por el Tecnológico de Costa Rica, se tiene: *“En resumen, para los 1670 evaluados en cuanto a su condición estructural, se tiene que el 37% se encuentran en una condición deficiente, esto significa que su valoración ponderada es mayor de 4 en una escala de 1 a 5. El 60% se encuentra en una condición regular, su calificación se encuentra ente 2 y 4 y solamente un 3% cumple satisfactoriamente con los requerimientos”*.

Esta valoración es solamente de la **condición estructural con base en la inspección visual**, no incluye aspectos de funcionalidad, riesgo, seguridad vial, los cuales deben considerarse posteriormente para la priorización de intervenciones a realizar.

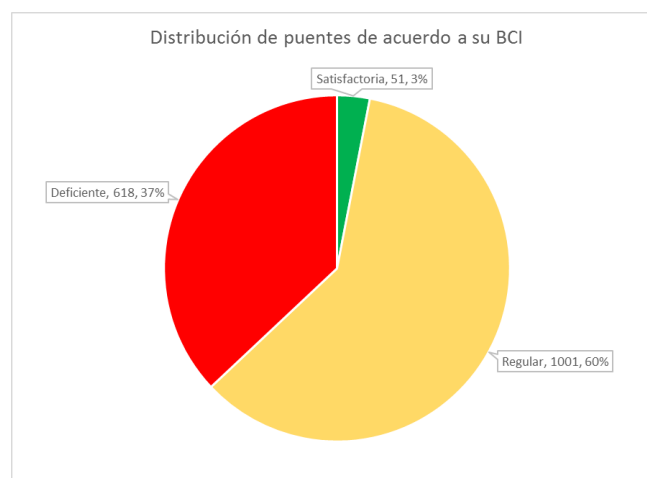


Figura 1. Condición estructural de los puentes evaluados.

Fuente: PEEP

## Inspección visual

La evaluación se realizó tomando como base el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, el cual evalúa daños ya definidos en los accesorios, superestructura y subestructura con una escala de 1 a 5 cada uno, donde 1 es una condición sin daño y 5 el mayor daño.

Los daños evaluados son los siguiente:

Clasificación	
Elemento	Daños
PAVIMENTO	Ondulación
	Surcos
	Agrietamiento
	Baches
	Sobrecapas de Asfalto
BARANDA (ACERO)	Deformación
	Oxidación
	Corrosión
	faltante
BARANDA (CONCRETO)	Agrietamiento
	Acero de Refuerzo
	Faltante
JUNTA DE EXPANSION	Sonidos extraños
	Filtración de aguas
	faltante o deformación
	Movimiento Vertical
	Juntas Obstruidas
	Acero de refuerzo
LOSA	Grietas de una dirección
	Grietas en dos direcciones
	Descascaramiento
	Acero de refuerzo
	Nidos de piedra
	Eflorescencia
	Agujeros
VIGA PRINCIPAL DE ACERO	Oxidación
	Corrosión
	Deformación
	Rotura de uniones
	Rotura de elementos
SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO	Oxidación
	Corrosión
	Deformación
	Rotura de uniones
	Rotura de Elementos
PINTURA	Decoloración
	Ampollas
	Descascaramiento

### ACCESORIOS

### SUPERESTRUCTURA

Clasificación	
Elemento	Daños
<b>VIGA PRINCIPAL DE CONCRETO</b>	Grietas en una dirección
	Grietas en dos direcciones
	Descascaramiento
	Acero de refuerzo
	Nido de piedra
	Eflorescencia
<b>VIGA DIAFRAGMA CONCRETO</b>	Grietas en una dirección
	Grieta en dos direcciones
	Descascaramiento
	Acero de refuerzo
	Nido de piedra
	Eflorescencia
<b>APOYO</b>	Rotura de poyos
	Deformación extraña
	Inclinación
	Desplazamiento
<b>PARED CABEZAL Y ALETONES (BASTIONES)</b>	grietas en una dirección
	grietas en dos direcciones
	Descascaramiento
	Acero de Refuerzo
	Nidos de Piedra
	Eflorescencia
<b>CUERPO PRINCIPAL (BASTION)</b>	Protección de terraplén
	grietas en una dirección
	grietas en dos direcciones
	Descascaramiento
	Acero de refuerzo
	Nidios de Piedra
	Eflorescencia
	Pendiente en Taludes
	Inclinación
<b>MARTILLO (PILA)</b>	Socavación
	grietas en una dirección
	grietas en dos direcciones
	Descascaramiento
	Acero de refuerzo
	Nidios de Piedra
<b>CUERPO PRINCIPAL (PILA)</b>	Eflorescencia
	grietas en una dirección
	grietas en dos direcciones
	Descascaramiento
	Acero de refuerzo
	Nidios de Piedra
	Eflorescencia
	Inclinación
	Socavación

**SUBESTRUCTURA**



## Metodología de valoración

Para definir una calificación global por cada puente se realizó lo siguiente:

1. Se tomó el daño de mayor valor en cada elemento.
2. Se tomó el valor mayor de cada elemento por componente
3. Se obtuvo un promedio ponderado considerando cada componente de la siguiente forma: 5% Accesorios, 45% Superestructura y 50% Subestructura

Para esta propuesta se tomaron como base dos métodos de cálculo del índice de condición estructural de un puente, por medio del daño más crítico y elemento combinado con los promedios ponderados por sistema.

Por ejemplo:

### A002 Río Espino

#### Accesorios

Pavimento- Ondulaciones	Pavimento- Zurcos	Pavimento- Agrietamiento	Pavimento- Baches	Pavimento- Sobrecapa de asfalto	Estado de Pavimento
1	1	3	3	1	3

Baranda (Concreto)- Agrietamiento	Baranda (Concreto)- Acero Expuesto	Baranda (Concreto)- Faltante	Estado baranda (Concreto)
5	4	1	5

Juntas de Expansión- Sonidos Extraños	Juntas de Expansión- Filtración de aguas	Juntas de Expansión- Faltante de deformación	Juntas de Expansión- Movimiento vertical	Juntas de Expansión- Juntas	Juntas de Expansión- Acero de Refuerzo Expuesto	Estado Juntas de expansión
0	0	0	0	0	0	0

Calificación de accesorios: 5

#### Superestructura

Losa- Grietas en una dirección	Losa- Grietas en dos Direcciones	Losa- Descascaramiento	Losa- Acero de Refuerzo	Losa- Nidos de Piedra	Losa- Eflorescencia	Losa- Agujeros	Estado Losa
---	---	---------------------------	-------------------------------	-----------------------------	------------------------	-------------------	----------------

1	1	5	5	1	1	1	5
---	---	---	---	---	---	---	---

Viga Princ. Concreto- Grietas en una direccion	Viga Princ. Concreto- Grietas en dos Direcciones	Viga Princ. Concreto- Descascaramiento	Viga Princip. Concreto- Acero de Refuerzo	Viga Princ. Concreto- Nidos de Piedra	Viga Princ. Concreto- Eflorescencia	Estado Viga Principal Concreto
5	5	5	5	1	1	5

Calificación de superestructura: 5

### Subestructura

Apoyos- Rotura de Apoyos	Apoyos- Deformacion Extraña	Apoyos- Inclinacion	Apoyos- Desplazamiento	Estado Apoyos
0	0	0	0	0

Pared, Cabezal y Aletones- Grietas en una Direccion	Pared, Cabezal y Aletones- Grietas en dos Direcciones	Pared, Cabezal y Aletones- Descascaramiento	Pared, Cabezal y Aletones- Acero de Refuerzo	Pared, Cabezal y Aletones- Nidos de Piedra	Pared, Cabezal y Aletones- Eflorescencia	Pared, Cabezal y Aletones- Proteccion de Terraplen	Estado pared, cabezal y aletones
1	1	1	1	1	1	1	1

Cuerpo Principal (Bastiones)- Grietas en una	Cuerpo Principal (Bastiones)- Grietas en dos	Cuerpo Principal (Bastiones)- Descascara miento	Cuerpo Principal (Bastiones)- Acero de Refuerzo	Cuerpo Principal (Bastiones)- Nidos de Piedra	Cuerpo Principal (Bastiones)- Eflorescencia	Cuerpo Principal (Bastiones)- Pendientes en Taludes	Cuerpo Principal (Bastiones)- Inclinacion	Cuerpo Principal (Bastiones)- Socavación	Estado Cuerpo principal (bastiones)
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Calificación de superestructura: 1

Calificación total = Accesorios x 5% + Superestructura x 45% + Subestructura x 50%

**Calificación total = 5\*5% + 5\*45% + 1\*50% = 3 (condición regular)**

## Propuesta para estimación de costos de intervención en puentes

Debido a que el CONAVI no cuenta con una base de datos que permita el costeo de las posibles intervenciones en los puentes, es que se propone una metodología para aproximar el costo de intervenciones en puentes utilizando las notas asignadas en inspección de campo, la importancia de elementos en el puente y costos por metro cuadrado de construcción de puentes nuevos.

## Posibles intervenciones de acuerdo a la calificación global del puente

Según la escala de calificación del SAEP (1-5) donde 1 es una condición satisfactoria y 5 una condición deficiente, se identificaron las posibles intervenciones.

**Tabla 1.** Clasificación de escala SAEP

Calificación	Actividad a realizar	Nivel	Plazo intervención
1	Mantenimiento general		Largo plazo para mantener y extender vida útil
2 - 3	Mantenimiento correctivo		Mediano plazo
4 - 5	Rehabilitación o sustitución de elementos		Corto plazo

Dado que la calificación en el SAEP se tiene por elemento se utilizó la siguiente propuesta para asignar una calificación a cada una de las partes del puente.

### A002 Río Espino

**Tabla 2.** Ponderación de importancia de elementos

COMPONENTE	ACCESORIOS		SUPERESTRUCTURA		SUBESTRUCTURA/ACCESOS	
% IMPORTANCIA	5%	CAL	45%	CAL	50%	CAL
<b>ELEMENTOS</b>	Pavimento		Losa	5	Apoyos	
	Baranda (acero)	3	Viga principal de acero		Pared cabezal y aletones (Bastiones)	1
	Baranda (concreto)		Sistema de arriostramiento		Cuerpo principal (Bastión)	1
	Junta de expansión	5	Pintura		Martillo (Pila)	
			Viga principal de concreto	5	Cuerpo principal (Pila)	
			Viga diafragma de concreto			
<b>VALORACION</b>	<b>PROMEDIO</b>	4	<b>PROMEDIO</b>	5	<b>PROMEDIO</b>	1
<b>CALIFICACION GENERAL DEL PUENTE</b>						<b>2,95</b>

Datos tomados del SAEP

## Propuesta de estimación de costos

El costo de reposición del puente se estima con base en los distintos tipos de estructuras y su configuración estructural, y los montos base se estimaron por medio de un promedio consultados a empresas, y datos proporcionados por la unidad ejecutora BCIE del CONAVI.

**Tabla 3.** Costos promedios por m2 de puentes nuevos.

Tipos de puentes para costeo		Costo
Tipo 1	Puente viga concreto menor 50m	\$4 046,64
Tipo 2	Puente viga acero menor 50m	\$2 404,82
Tipo 3	Puente viga concreto mayor 50m	\$3 766,84
Tipo 4	Puente viga acero mayor 50m	\$4 228,38
Tipo 5	Puente tipo cercha	\$3 598,49
Tipo 6	Puente colgante	\$3 000,00
Tipo 7	Puente tipo marco rígido	\$3 000,00
Tipo 8	Puente tipo arco	\$2 933,35
Tipo 9	Alcantarilla concreto	\$2 604,86

## Costo de la intervención<sup>1</sup>

Para estimar este costo de intervención, se tomó como base el costo por metro cuadrado (**Tabla 3**), este se multiplica por el porcentaje de importancia de cada componente, en una escala trasformada de 0 a 5 a una escala de 0 a 10, como se muestra a continuación:

$$CR = CP [ \%IMPA (0.25 VA - 0.25) + \%IMPSP (0.25 VSP - 0.25) + \%IMPSB (0.25 VSB - 0.25)]$$

**CR :** Costo de rehabilitación  
**CP :** Costo puente nuevo  
**%IMPA :** Porcentaje de importancia de los accesorios  
**VA :** Valoración promedio de los accesorios  
**%IMPSP :** Porcentaje de importancia de la superestructura  
**VSP :** Valoración promedio de la superestructura  
**%IMPSB :** Porcentaje de importancia de la subestructura  
**VSB :** Valoración promedio de la subestructura

Por ejemplo:

Utilizando los datos de la **tabla 2** y Tabla 3, se realizó el siguiente ejemplo utilizando los datos del **Rio Espino A002**.

<sup>1</sup> Esta es una propuesta del Tecnológico de Costa Rica, la cual debe validarse.

**Tabla 4.** Costo de reposición del puente por metro cuadrado.

Descripción	Cantidad	Unidad de medida
<b>Tipo 1.</b> Costo puente nuevo (m2), para puente menor de 50 metros de concreto	\$4 046,64	m2
Longitud puente	6,65	m
Número de carriles	2	m
<b>Cálculo costo puente</b>	<b>\$161 461,13</b>	m2

$$CR = \$161\,461,13 [ 5\% ((0.25) (4) - 0.25) + 45\% ((0.25) (5) - 0.25) + 50\% ((0.25) (1) - 0.25)]$$

$$CR = \$78\,712,30$$

El costo de intervención de la estructura es de CR = **\$78 712,00**, lo cual refleja un **49% del costo de un puente nuevo.**



**Figura 1:** Daños en el puente Rio Espino A002



**Figura 2:** Daños en el puente Rio Espino A002

Ejemplo de costos aproximados en puentes inspeccionados en Rutas Nacionales:



Código	Nombre	Ruta	Costo de reparación	Porcentaje sobre el costo de puente nuevo
A001	Rio Achioté	4	\$157 060,40	43%



**Figura 3:** Daños en el puente Rio Achioté A001

Código	Nombre	Ruta	Costo de reparación	Porcentaje sobre el costo de puente nuevo
A009	Rio Colorado	118	\$240 224,74	63%



**Figura 4:** Daños en el puente Rio Colorado A009

## **Consideraciones finales**

Este costo es una aproximación para dimensionar el proyecto de intervención de puentes, una vez iniciado el proyecto deben realizarse estimaciones detalladas. Adicionalmente debe sumársele al proyecto los costos administrativos y el costo relacionado con el diseño de la intervención. Toda esta información debe almacenarse en una base de datos que permita generar una información para futuras intervenciones.

Se adjunta un archivo en Excel con los datos para la cuantificación de las intervenciones en los 1670 puentes de rutas nacionales.

# Apéndices

Los apéndices que se presentan corresponden a:

1. Determinación de los daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes.
2. Continuación de la determinación de los daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes.
3. Manual para el Mantenimiento de Puentes.



**Apéndice 1. Determinación de los daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes.**

<b>Daño</b>	<b>Elemento</b>	<b>Condición satisfactoria</b>	<b>Condición regular</b>	<b>Condición deficiente</b>	<b>Total</b>	<b>Condición satisfactoria</b>	<b>Condición regular</b>	<b>Condición deficiente</b>	<b>Total</b>
1. Ondulaciones	• Pavimento	784	33	4	821	-	33	4	37
2. Surcos	• Pavimento	796	23	2	821	-	23	2	25
3. Grietas	• Pavimento	611	144	66	821	-	144	66	210
4. Baches	• Pavimento	708	99	14	821	-	99	14	113
5. Sobrecapas en el pavimento	• Pavimento	60	158	604	822	-	158	604	762
6. Deformación en baranda y viga principal de acero	• Baranda de acero	428	142	157	727	-	206	169	375
	• Viga principal de acero	479	64	12	555				
7. Oxidación	• Baranda de acero	248	377	100	725	-	621	352	973
	• Viga principal de acero	59	244	252	555				
8. Corrosión	• Baranda de acero	519	184	22	725	-	787	208	995
	• Viga principal de acero	112	315	128	555				
	• Sistema arriostramiento	164	288	58	510				
9. Faltante o ausencia en barandas	• Baranda de acero	594	69	318	981	-	147	367	514
	• Baranda de concreto	528	78	49	655				
10. Agrietamiento de la baranda de concreto	• Baranda de concreto	273	232	141	646	-	232	141	373
11. Acero de refuerzo expuesto	• Baranda de concreto	384	149	113	646	5420	299	235	5954
	• Juntas de expansión	665	8	17	690				
	• Losa	651	17	7	675				
	• Viga principal de concreto	517	29	19	565				
	• Viga diafragma de concreto	1509	48	30	1587				
	• Viga cabezal y aletones del bastión	1193	32	24	1249				
	• Cuerpo principal del bastión	236	6	9	251				
	• Martillo de la pila	265	10	16	291				
12. Sonidos extraños	• Juntas de expansión	665	28	1	694	-	28	1	29
13. Filtraciones de agua en juntas de expansión	• Juntas de expansión	264	330	620	1214	-	330	620	950
14. Faltante o deformación	• Juntas de expansión	531	77	78	686	-	77	78	155
15. Movimiento vertical	• Juntas de expansión	667	20	5	692	-	20	5	25
16. Juntas obstruidas	• Juntas de expansión	207	350	664	1221	-	350	664	1014
17. Grietas en una dirección	• Losa	574	75	26	675	-	722	161	883
	• Viga cabezal y aletones del bastión	1262	273	52	1587				
	• Cuerpo principal del bastión	898	288	66	1252				
	• Martillo de la pila	224	17	9	250				
	• Cuerpo principal de la pila	214	69	8	291				
18. Grietas en dos direcciones	• Losa	607	31	37	675	-	167	110	277
	• Viga cabezal y aletones del bastión	1524	44	20	1588				
	• Cuerpo principal del bastión	1135	74	42	1251				
	• Martillo de la pila	244	5	2	251				
	• Cuerpo principal de la pila	268	13	9	290				
19. Descascaramiento del concreto	• Losa	615	47	13	675	-	1115	169	1284
	• Viga principal de concreto	472	81	12	565				
	• Viga diafragma de concreto	1113	434	39	1586				
	• Viga cabezal y aletones del bastión	704	466	81	1251				
	• Cuerpo principal del bastión	212	29	10	251				
	• Martillo de la pila	219	58	14	291				

Fuente: elaboración propia.

**Apéndice 2. Continuación de la determinación de los daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes.**

20. Nidos de piedra	• Losa	507	117	53	677	-	1637	237	1874
	• Viga principal de concreto	370	182	13	565				
	• Viga diafragma de concreto	927	616	45	1588				
	• Viga cabezal y aletones del bastión	600	547	104	1251				
	• Cuerpo principal del bastión	176	68	7	251				
	• Martillo de la pila	169	107	15	291				
	• Cuerpo principal de la pila	1261	273	51	1585				
21. Eflorescencia	• Losa	189	371	4	564	-	2935	88	3023
	• Viga principal de concreto	588	986	14	1588				
	• Viga diafragma de concreto	299	936	15	1250				
	• Viga cabezal y aletones del bastión	74	173	4	251				
	• Cuerpo principal del bastión	95	196	0	291				
	• Martillo de la pila								
	• Cuerpo principal de la pila								
22. Agujeros en la losa de concreto	• Losa	1522	44	20	1586	-	44	20	64
23. Pérdida de pernos	• Viga principal de acero	540	5	10	555	-	5	10	15
24. Grietas en la soldadura o la placa	• Viga principal de acero	551	2	2	555	-	2	2	4
25. Oxidación en sistemas de arriostramiento	• Sistemas de arriostramiento	79	208	224	511	-	208	224	432
26. Deformación en sistemas de arriostramiento	• Sistemas de arriostramiento	464	36	10	510	-	36	10	46
27. Rotura de conexiones	• Sistemas de arriostramiento	486	5	19	510	-	5	19	24
28. Rotura de elementos	• Sistemas de arriostramiento	494	6	10	510	-	6	10	16
29. Grietas en una dirección en viga principal y diafragma de concreto	• Viga principal de concreto	488	70	8	566	-	70	8	78
	• Viga diafragma de concreto								
30. Grietas en dos direcciones en viga principal y diafragma de concreto	• Viga principal de concreto	557	4	3	564	-	4	3	7
	• Viga diafragma de concreto								
31. Decoloración	• Pintura	155	224	98	477	-	224	98	322
32. Ampollas	• Pintura	0	120	131	251	-	120	131	251
33. Descascaramiento de la pintura	• Pintura	118	199	161	478	-	199	161	360
34. Rotura de pernos	• Apoyos	594	77	26	697	-	77	26	103
35. Deformación de los apoyos	• Apoyos	628	32	37	697	-	32	37	69
36. Inclinación de los apoyos	• Apoyos	635	49	13	697	-	49	13	62
37. Desplazamiento	• Apoyos	672	18	7	697	-	18	7	25
38. Protección del talud	• Viga cabezal y aletones del bastión	1371	185	56	1612	-	185	56	241
39. Pérdida de protección en frente del bastión	• Cuerpo principal del bastión	1132	170	122	1424	-	170	122	292
40. Inclinación del bastión	• Cuerpo principal del bastión	1392	15	12	1419	-	15	12	27
41. Socavación en el bastión	• Cuerpo principal del bastión	777	161	481	1419	-	161	481	642
42. Inclinación de la pila	• Cuerpo principal de la pila	291	3	0	294	-	3	0	3
43. Socavación en la pila	• Cuerpo principal de la pila	239	20	35	294	-	20	35	55

Fuente: elaboración propia.

### **Apéndice 3. Manual para el Mantenimiento de Puentes.**

# **Manual para el Mantenimiento de Puentes**

## Contenido

<b>Capítulo 1. Generalidades.....</b>	<b>4</b>
Introducción.....	4
Objetivo.....	6
Alcance.....	6
Componentes del Manual de Mantenimiento de Puentes.....	6
Abreviaciones.....	6
Componentes de un puente según el Manual de Inspección de Puentes del MOPT.....	7
<b>Capítulo 2. Daños más comunes que presentan los puentes de Costa Rica.....</b>	<b>10</b>
Daños más comunes.....	10
<b>Capítulo 3. Procedimientos de mantenimiento.....</b>	<b>12</b>
<b>D01 Reparación de acero de refuerzo expuesto.....</b>	<b>13</b>
D01-MP-L1 Reparación del acero expuesto en la losa.....	15
D01-MP-B1 Reparación de acero expuesto en una baranda tipo New Jersey.....	19
D01-MP-P1 Reparación de acero expuesto en el cuerpo principal del bastión o pila.....	24
D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.....	30
D01-MP-T1 Reparación de acero expuesto mediante la instalación de ánodos galvánicos embebidos.....	35
<b>D02 Remoción de la eflorescencia.....</b>	<b>42</b>
D02-MR-T1 Remoción de la eflorescencia mediante métodos manuales.....	44
D02-MR-T2 Remoción de la eflorescencia utilizando lijadora electromecánica.....	46
D02-MR-T3 Remoción de la eflorescencia lavando con soluciones ácidas.....	48
<b>D03 Reparación de nidos de piedra.....</b>	<b>50</b>
D03-MP-P1 Reparación de nidos de piedra en el cuerpo principal del bastión o pila.....	52
D03-MP-V1 Reparación de nidos de piedra en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.....	57
<b>D04 Reparación del descascaramiento.....</b>	<b>62</b>
D04-MR-L1 Reparación del descascaramiento en la losa.....	64
D04-MR-P1 Reparación del descascaramiento en la pila o en el bastión.....	68
D04-MR-V1 Reparación del descascaramiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.....	72
<b>D05 Reparación de juntas obstruidas.....</b>	<b>76</b>
D05-MR-J1 Limpieza general del puente.....	78
<b>D06 Reparación de la corrosión.....</b>	<b>82</b>
D06-MR-T1 Detención del proceso de corrosión mediante la limpieza y aplicación de pintura anticorrosiva en superficies nuevas o con toda la pintura existente removida.....	84
<b>D07 Reparación de la oxidación.....</b>	<b>87</b>
D07-MR-T1 Eliminación de la oxidación mediante la limpieza con chorro de agua.....	89
<b>D08 Reparación de las filtraciones de agua en juntas de expansión.....</b>	<b>90</b>
D08-MP-J1 Sustitución de las juntas de expansión por juntas de silicón.....	93
<b>D09 Reparación de grietas en una dirección.....</b>	<b>97</b>

D09-MP-T1 Reparación de grietas en una dirección mediante la inyección de resinas epóxicas a presión.....	99
D09-MP-L1 Sellado de grietas en losas de concreto o carpetas asfálticas.....	104
<b>D10 Remoción de sobrecapas de pavimento.....</b>	<b>107</b>
D10-MR-L1 Remoción de sobrecapas de pavimento y colocación de nuevas superficies de ruedo de concreto asfáltico.....	109
<b>D11 Socavación en el bastión.....</b>	<b>112</b>
D11-MR-P1 Limpieza de los cauces para prevenir la socavación.....	114
D11-MP-P1 Procedimiento para prevenir la socavación, mediante enrocados (escolleras) en el cuerpo principal de los bastiones.....	116
<b>D12 Reparación de elementos faltantes o ausencia de barandas.....</b>	<b>121</b>
D12-MP-B1 Reparación de baranda de concreto.....	123
D12-MP-B2 Notas generales en caso de ausencia de barandas.....	128
<b>D14 Reparación de la deformación en baranda y viga principal de acero.....</b>	<b>132</b>
<b>D15 Reparación del agrietamiento en las barandas de concreto.....</b>	<b>134</b>
<b>D16 Reparación del descascaramiento de la pintura.....</b>	<b>136</b>
D16-MR-T1 Pintado de superficies que mantienen la pintura parcialmente en buen estado.....	138
<b>D00 Reparación de apoyos.....</b>	<b>142</b>
D00-MP-A1 Sustitución de los dispositivos de apoyo mediante el uso de gatos hidráulicos.....	144
<b>Bibliografía.....</b>	<b>149</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>151</b>
Apéndice 1. Código de los procedimientos.....	151
Apéndice 2. Cálculo de la longitud de anclaje del refuerzo longitudinal (Según la Sección 8.5 del CSCR-10).....	152

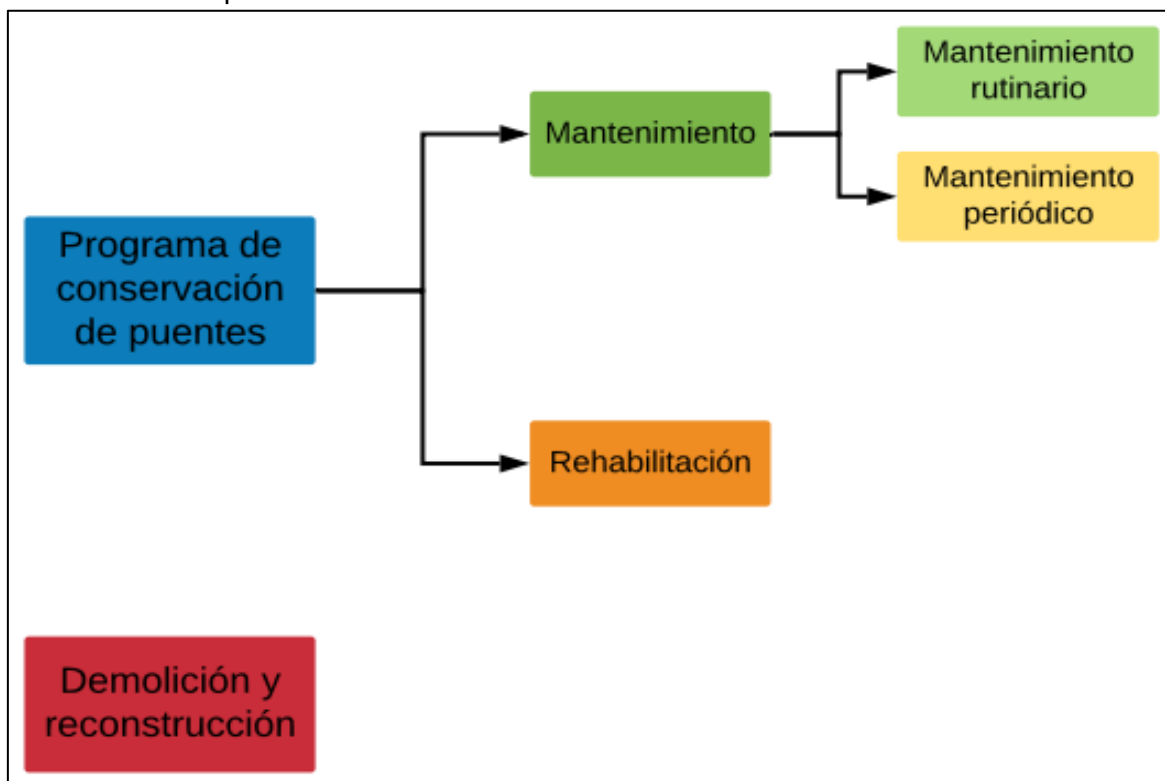
# Capítulo 1. Generalidades

## Introducción

Los puentes son el componente más importante de la infraestructura vial, típicamente, representan el componente más caro por metro lineal en la construcción de carreteras, además, en caso de colapso, toda la ruta queda fuera de operación (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018). A pesar de su clara importancia, en Costa Rica, la mayoría de estas estructuras fueron construidas hace más de 30 años y la inversión en mantenimiento y actualización ha sido mínima (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018).

Según estudios realizados por el Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP) del TEC, gran cantidad de estos problemas son producto de la falta de un plan de monitoreo y mantenimiento continuo de las estructuras. Es por esta razón que es indispensable que Costa Rica implemente un programa de conservación de puentes (Garita, Ortiz, & Mora-Mora, 2018).

Según la Federal Highway Administration (2018), un programa de conservación de puentes consiste en aplicar procedimientos de mantenimiento para prolongar la vida de servicio de los puentes y retrasar la necesidad de intervenirlos con procedimientos de rehabilitación o reconstrucción. Es decir, los elementos se intervienen cuando sus daños están en una fase leve y, de esta forma, se evitan procedimientos más complejos que resultan mucho más costosos. En la siguiente figura, se puede observar la estructura de un programa de conservación de puentes.



**Figura 1. Estructura de un programa de conservación de puentes.**

Fuente: elaboración propia a partir de las recomendaciones de Federal Highway Administration (2011).

Tal y como se observa en la figura anterior, a través de procedimientos de mantenimiento se busca extender al máximo la vida útil de un puente y sus elementos. Cuando esto ya no es viable, se deben realizar rehabilitaciones para regresar el puente a un estado óptimo de servicio para nuevamente repetir el ciclo, es decir, con procedimientos de mantenimiento evitar que el puente llegue a una condición donde necesite rehabilitaciones. El ciclo se debe repetir hasta que con la ayuda de un análisis costo-beneficio se determine que lo adecuado es reemplazar la estructura.

A pesar de que adoptar un programa de conservación de puentes implica un costo constante para llevar a cabo las actividades de mantenimiento, el costo anual a lo largo de la vida útil del puente se disminuye, debido a que se aumenta la vida de servicio y las intervenciones son menos complejas.

Es importante entender que el mantenimiento rutinario se refiere a las actividades que se realizan en intervalos predeterminados de tiempo, cuyo objetivo es preservar los puentes existentes y retrasar el deterioro (Federal Highway Administration, 2011). En cambio, por mantenimiento periódico se entiende que son las actividades que se deben programar de acuerdo con las necesidades específicas de cada elemento y deben identificarse en el proceso de inspección visual de puentes (Federal Highway Administration, 2011).

Dada la importancia de los procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico, para un programa de conservación de puentes, es indispensable que el país cuente con manuales de este tipo para poder implementarlo. Estos manuales sirven de guía para que las entidades encargadas de mantenimiento de puentes puedan ejecutar los procedimientos de la mejor manera, siguiendo buenas prácticas de ingeniería.

Con la publicación de este Manual de Mantenimiento de Puentes, se espera que el país cuente con un manual que no solamente tenga procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico disponibles, sino que también lleve a cabo un análisis de los daños más repetitivos en los diferentes elementos de los puentes, junto con las posibles causas y consecuencias.

La intención de este manual es servir como guía o referencia para llevar a cabo actividades de mantenimiento periódico y rutinario en los puentes de Costa Rica, y reparar los daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes.



## **Objetivo**

Servir de guía o referencia para que las entidades encargadas del mantenimiento de puentes puedan ejecutar procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico, para los 16 daños más repetitivos encontrados en el inventario nacional de puentes, de manera adecuada, siguiendo buenas prácticas de ingeniería.

## **Alcance**

Este manual incluye procedimientos de mantenimiento únicamente para los 16 daños más repetitivos que se encuentran presentes en el inventario nacional de puentes. También, es importante resaltar que este manual no cuenta con ningún peso legal y que su uso se hace bajo el propio riesgo del ingeniero a cargo de las obras de mantenimiento.

## **Componentes del Manual de Mantenimiento de Puentes**

Este manual está compuesto por tres capítulos. El primero abarca temas generales, tales como: introducción, objetivo, alcance del manual, componentes generales de un puente y las abreviaciones utilizadas.

El segundo capítulo comenta el estudio que se llevó a cabo para determinar la repetitividad de los daños que afectan los puentes del inventario nacional de puentes. Además, se mencionan cuáles son los 16 daños más comunes que afectan los puentes nacionales.

Por último, el tercer capítulo abarca procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico para intervenir los 16 daños más comunes presentes en el inventario nacional de puentes. Añadido a esto, cada daño presenta una explicación de sus posibles causas y consecuencias.

## **Abreviaciones**

AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials

ACI: American Concrete Institute

ASTM: American Society for Testing and Materials

CONAVI: Consejo Nacional de Vialidad

CR-2010: Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes

CSCR-10: Código Sísmico de Costa Rica

MCV-2015: Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes

MOPT: Ministerio de Obras Públicas y Transportes

PEEP: Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes

## Componentes de un puente según el Manual de Inspección de Puentes del MOPT

Los componentes de un puente según el MOPT (2007) son:

**Accesorios:** son los elementos que no poseen una función estructural, sin embargo, son fundamentales para el funcionamiento adecuado del puente. Estos elementos son la superficie de rodamiento, juntas de expansión y barandas.

**Superestructura:** la superestructura está compuesta por la losa o sistema de piso, elementos principales, tales como las vigas, cerchas y arco, y los elementos secundarios, como los diafragmas y sistemas de arriostramiento.

**Subestructura:** la subestructura está compuesta por las pilas, pilotes, bastiones y apoyos.

**Accesos de aproximación:** los accesos de aproximación comprenden la losa de aproximación y los rellenos con sus respectivas protecciones.

### Accesorios

**Superficie de rodamiento:** según el MOPT (2007), una superficie de rodamiento es una capa de desgaste, ya sea de concreto o asfalto, que se coloca sobre la losa o el sistema de piso para protegerlo del clima o de la abrasión producida por el flujo vehicular. Estos espesores varían entre 2,54 cm y 5 cm, sin embargo, en muchos casos, este espesor es mayor, debido a una inapropiada técnica de mantenimiento de carreteras (MOPT, 2007).

MOPT (2007) recomienda que todas las losas de concreto deben tener una superficie de rodamiento de asfalto de, por lo menos, 5 cm, inclusive si estos cuentan con una cubierta de concreto. Antes de colocar la capa de asfalto. Esta misma entidad recomienda instalar una membrana impermeable, ya que, de esta forma, se evita el deterioro de la losa de concreto por el tráfico pesado y las condiciones climáticas severas.

**Baranda:** según el MOPT (2007), una baranda es un sistema de contención longitudinal que puede ser de concreto o de acero. Se fija al sistema de piso y su función es evitar que los usuarios, vehículos, peatones o ciclistas caigan al vacío.

**Juntas de expansión:** de acuerdo con el MOPT (2007), una junta de expansión es un elemento divisorio de la losa y se colocan en los extremos de cada tipo de superestructura. Permiten su movimiento, ya sea por traslación o rotación, y se garantiza que la superestructura pueda contraerse o expandirse debido a los efectos de la temperatura y sismo. Los tipos más comunes de juntas de expansión en Costa Rica, según este ministerio, son:

**Juntas abiertas:** es una abertura libre de aproximadamente media pulgada (12,7 mm) entre losas, losa-bastión o losa-losa de aproximación y que comúnmente cuentan con angulares de acero para evitar que se desprenda el concreto de los bordes, debido al paso repetitivo de los vehículos.

**Juntas selladas rellenas:** típicamente se aplican en puentes cortos que tengan un desplazamiento menor a 38,1 mm (1 ½ pulgada), son similares a las juntas abiertas, pero cuentan con un *water stop*, para impermeabilizar la junta y se protege con un relleno premoldeado que se sella con hule chorreado.

Juntas selladas con sellos comprimidos de neopreno: se coloca un sello comprimido de neopreno en una junta abierta y la elasticidad del material impermeabiliza la junta y permite el movimiento de la losa. Comúnmente, se colocan en puentes cuyos desplazamientos se encuentren en un rango de 12,7 mm y 63,5 mm (1/2 a 2 ½ pulgada).

Juntas de placas de acero deslizante: se pueden colocar en puentes que tengan desplazamientos mayores a 101 mm (4 pulgadas) y se refiere a una placa de acero que se ancla a solo un extremo de la junta lo que permite el movimiento de la losa.

Juntas de placas dentadas: se utilizan en puentes que tengan desplazamientos menores a 610 mm (24 pulgadas), y consiste en dos placas dentadas de acero que se entrelazan dejando un espacio entre sí para permitir el desplazamiento. Debajo de estas se instala un drenaje con material elastomérico para garantizar la impermeabilización de la junta.

## **Superestructura**

**Sistema de piso o losa:** según el MOPT (2007), el sistema de piso o losa es la plataforma por la cual circula la carga viva vehicular y su función principal es transferir dichas cargas a los elementos principales, los cuales pueden ser vigas, arcos, cerchas, etc.

**Elementos principales:** de acuerdo con el MOPT (2007), la función principal de los elementos principales “es soportar las cargas transferidas a ellos por el sistema de piso y además transmitir los esfuerzos resultantes hacia la subestructura a través de los apoyos” (p. 6).

**Elementos secundarios:** según el MOPT (2007), los elementos secundarios son los encargados de distribuir apropiadamente las cargas y generar mayor rigidez lateral y torsional, de forma que se restrinjan las deformaciones de los elementos principales para que trabajen más eficientes.

De acuerdo con el MOPT (2007), los 4 tipos más comunes de superestructura en Costa Rica son:

Superestructura de vigas: está compuesta por vigas principales que pueden tener dos (viga simple) o más apoyos (viga continua) y que tienen juntas de expansión en sus extremos. En el caso de un marco rígido, los extremos se encuentran empotrados a las columnas, por lo que no existen las juntas.

Superestructura de cercha: está compuesta por dos armaduras que se unen por medio de un sistema de piso, diafragmas transversales y sistemas de arriostramiento superior e inferior. Pueden ser de paso inferior, paso superior o de media altura.

Superestructura de arco: está compuesta por vigas o armaduras con forma de arco que también se encuentran unidas por el sistema de piso, diafragmas transversales y sistemas de arriostramiento. Pueden ser de paso superior o inferior.

Superestructuras suspendidas: son sistemas de pisos suspendidos de una o varias pilas centrales mediante cables comúnmente de acero. Pueden ser colgantes o atirantadas.

## **Subestructura**

**Apoyos:** según el MOPT (2007), los apoyos son sistemas mecánicos cuya función principal es transmitir las cargas verticales de la superestructura a la subestructura. Además, para que la estructura de paso tenga un adecuado funcionamiento, los apoyos deben garantizar

los grados de libertad del diseño. De acuerdo con el MOPT (2007), existen tres tipos de apoyos.

**Apoyo de expansión:** este tipo de apoyo le permite a la estructura rotar o trasladarse en sentido longitudinal. Pueden ser de placa, neopreno, nódulo o balancín.

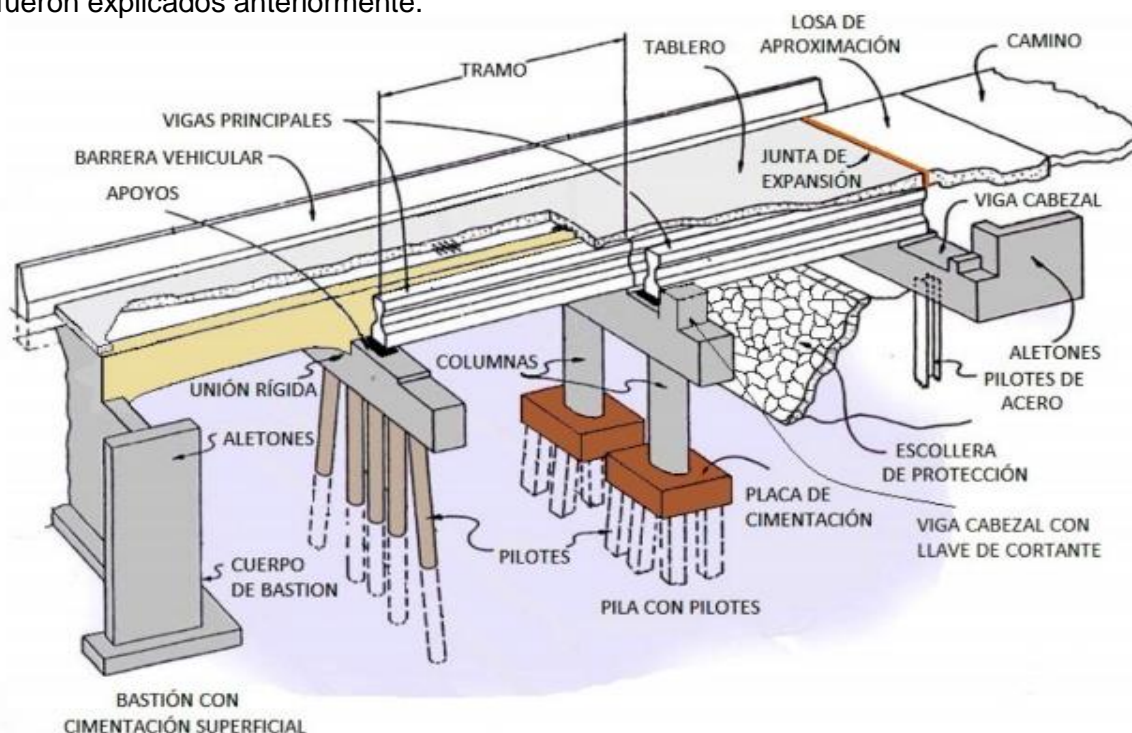
**Apoyo fijo:** este tipo de apoyo le restringe la traslación a la estructura y solamente le permite rotar.

**Apoyo rígido o empotrado:** este tipo de apoyo restringe todos los movimientos, ya sean de rotación o traslación.

**Bastiones:** según el MOPT (2007), los bastiones sirven de apoyo en los extremos del puente, además, como están en contacto con los rellenos de aproximación tienen la función de absorber el empuje del suelo. Los bastiones pueden ser de concreto, acero, madera o mampostería y están compuestos por aletones, viga cabezal, cuerpo principal y la fundación. Además, pueden ser de varios tipos: de gravedad, voladizo, marco, muro con contrafuerte, cabezal sobre pilotes o de tierra armada.

**Pilas:** el MOPT (2007) menciona que la función de las pilas es servir como apoyos intermedios a la superestructura. Generalmente, son construidas de concreto reforzado. Los componentes de una pila son la viga cabezal, cuerpo principal y la fundación, y pueden ser de varios tipos: muro, marco, columna sencilla o columna múltiple.

En la siguiente figura se pueden observar algunos de los componentes de un puente, que fueron explicados anteriormente.



**Figura 2. Componentes de un puente.**

Fuente: Muñoz et al. (2015).

## Capítulo 2. Daños más comunes que presentan los puentes de Costa Rica

### Daños más comunes

Para determinar los daños más comunes que afectan los puentes nacionales, se compararon los 83 daños presentes en el Manual de Inspección de Puentes y se encontró que el mismo daño se puede dar en diferentes elementos. Por ejemplo, el acero de refuerzo expuesto se puede dar en barandas de concreto, juntas de expansión, losas, vigas principales de concreto, vigas diafragmas de concreto, viga cabezal y aletones del bastión, cuerpo principal del bastión, martillo de la pila y el cuerpo principal de la pila. De esta manera, se determinó que existen 43 daños diferentes en el inventario nacional de puentes.

El inventario nacional de puentes está conformado por la inspección visual realizada por el PEEP a 1669 puentes, los cuales representan la totalidad de los puentes sobre rutas nacionales.

Gracias a la información suministrada por el PEEP, acerca de las inspecciones realizadas, se logró determinar la repetitividad de los 43 daños en los diferentes elementos de los puentes, de rutas nacionales.

En el siguiente cuadro, se pueden observar los 16 daños más comunes que se encuentran presentes en el inventario nacional de puentes.

**Cuadro 1. Daños más comunes que se encuentran en el inventario nacional de puentes.**

Daño	Repeticiones
17. Acero de refuerzo expuesto	5954
18. Eflorescencia	3023
19. Nidos de piedra	1874
20. Descascaramiento del concreto	1284
21. Juntas obstruidas	1014
22. Corrosión	995
23. Oxidación	973
24. Filtraciones de agua en juntas de expansión	950
25. Grietas en una dirección	883
26. Sobrecapas de pavimento	762
27. Socavación en el bastión	642

28. Faltante o ausencia en barandas	514
29. Oxidación en sistemas de arriostramiento	432
30. Deformación en baranda y viga principal de acero	375
31. Agrietamiento de la baranda de concreto	373
32. Descascaramiento de la pintura	360

Fuente: elaboración propia.

Para intervenir estos daños, en el capítulo 3, se proponen procedimientos de mantenimiento rutinario y periódico. Además, se explican las posibles causas y consecuencias de dichos daños.

Para cada procedimiento, se definió un objetivo, criterio, notas generales, especificaciones de los materiales y herramientas, además de que se menciona dónde se encuentran las especificaciones (referencias bibliográficas) de cada procedimiento. Es importante indicar que el criterio hace una referencia directa al Manual de Inspección de Puentes del MOPT e indica para qué grado, del daño respectivo, el procedimiento es aplicable. Por ejemplo, para el procedimiento D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa, se menciona que es aplicable para un grado de acero expuesto de 2 o mayor y que en caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-V1 Reparación del descascaramiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.

Se debe recalcar que no se incluyen procedimientos para reparar el daño #13 (oxidación en sistema de arriostramiento), porque es un daño que se puede reparar mediante los mismos procedimientos del daño #7 (oxidación). Estos daños se han considerado diferentes porque el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, evalúa el sistema de arriostramiento de una forma diferente a las barandas y viga principal de acero. Para los sistemas de arriostramiento, permite un grado de oxidación menor.

### Capítulo 3. Procedimientos de mantenimiento

Los diferentes procedimientos de mantenimiento se seleccionan de acuerdo con los diferentes tipos de daños que se encuentren en el puente.

Según lo estipulado en el MCV-2015 o su versión vigente, para todos los procedimientos de mantenimiento que se proponen en el presente manual, se deben tomar en cuenta las siguientes medidas de seguridad y de protección ambiental.

#### Seguridad

- El personal debe contar con uniformes, equipo de seguridad personal y otros elementos de seguridad ocupacional de acuerdo con la legislación respectiva vigente y siguiendo lo estipulado en las normas INTE-31.
- Se debe cumplir con la Subsección 108.08 Sanidad, salud y seguridad, del CR-2010 o su versión vigente.
- Se deben colocar señales preventivas y dispositivos de seguridad de acuerdo con el Manual Técnico de Protección de Obra, de la Dirección General de Ingeniería de Tránsito del MOPT, o su versión vigente.
- Regular el paso del tránsito, como sea necesario.

#### Protección ambiental

- Se deben considerar las medidas de mitigación, prevención y protección del medio ambiente, de acuerdo con la Sección 111. Disposiciones ambientales generales, Subsecciones 108.10 Protección del ambiente y 108.11 Protección de bosques, parques y terrenos públicos, del CR-2010 o su versión vigente; además, se debe cumplir la legislación ambiental vigente.

Añadido a esto, se debe mencionar que la mayor parte de los procedimientos que se proponen en este manual se basan en el Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual del Departamento de Transportes de Georgia, Estados Unidos. Los procedimientos fueron adaptados a las normativas nacionales utilizando el Manual de especificaciones generales para la conservación de caminos, carreteras y puentes (MCV-2015) y el Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010).

## **D01 Reparación de acero de refuerzo expuesto**

Definición: es la exposición del acero en una estructura de concreto reforzado. En otras palabras, es el acero de refuerzo que debe estar embebido en el concreto.

Elementos en los que se puede dar el acero expuesto:

1. Losa
2. Baranda de concreto
3. Viga principal o diafragma de concreto
4. Cuerpo principal de bastión o pila

Posibles causas:

- Descascaramiento.
- Paso constante e impacto de vehículos.
- Malas prácticas constructivas. Por ejemplo: el exceso de vibrado genera una deficiente adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.
- Mala calidad del concreto (muy poroso, baja resistencia, entre otras).
- Delaminación (descascaramiento debido a la corrosión del acero) por filtración de agua a través de grietas, recubrimiento menor al estipulado por el ACI, entre otras.
- Nidos de piedra.

Posibles consecuencias:

- Cuando el acero queda expuesto al ambiente se oxida, y si no se lleva a cabo un procedimiento de mantenimiento, iniciará la corrosión, disminuyendo su sección transversal y comprometiendo la capacidad estructural del elemento.
- Es importante resaltar que la oxidación y corrosión no se da solamente en el acero expuesto, también se puede dar cuando se encuentra embebido en el concreto, debido a: recubrimiento insuficiente, grietas, pobre calidad del concreto, mala adherencia entre el concreto y el acero, entre otras.

En las siguientes imágenes proporcionadas por el PEEP, se puede observar el acero expuesto en los diferentes elementos de concreto.





**Figura 3. Acero expuesto en diferentes elementos de concreto.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D01-MP-L1 Reparación del acero expuesto en la losa**

Objetivo: reestablecer la integridad funcional y estructural de la losa para asegurar un tránsito seguro para los usuarios.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor. En caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-L1 Reparación del descascaramiento en la losa.

### Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de la losa.
2. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura ambiente sea mayor a 32 °C.
3. No se debe soldar el acero de refuerzo.
4. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
5. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

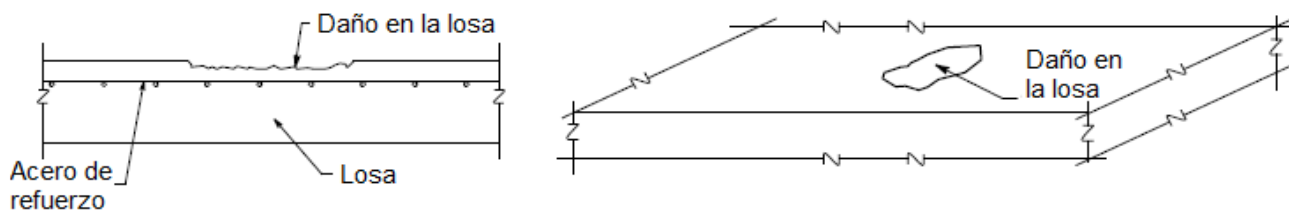
- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de  $255 \text{ kg/cm}^2$ : se debe preparar, transportar, colocar, vibrar y curar de acuerdo con la sección 501 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015, debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60,  $f_y$ :  $4200 \text{ kg/cm}^2$  y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.

### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, Sección 611: reparación de la superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes del MCV-2015, la Subsección 501.16 Apertura del tránsito del CR-2010 y la Actividad 810.01 – Deck Spall Repair del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual de Georgia.





**Figura 4. Daño en la losa.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado, se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada.

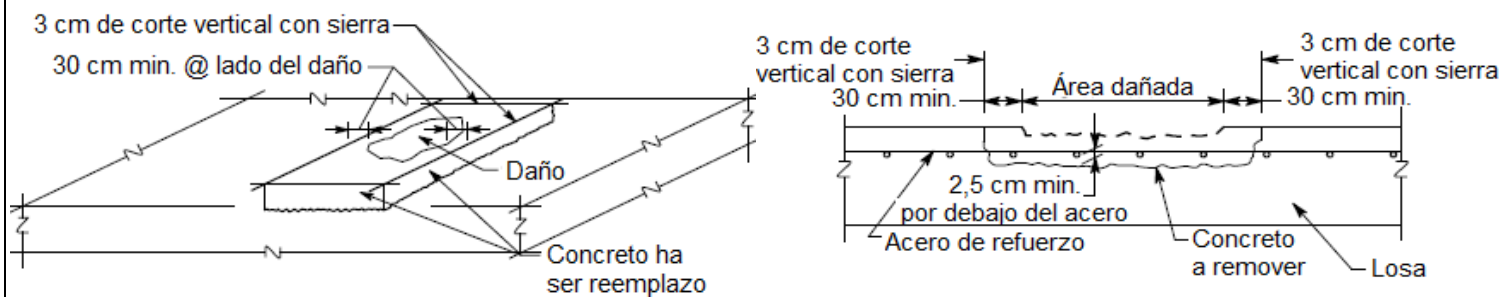
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.

3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por debajo del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.

4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.

5. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto ( $l_{ar}$ ) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.

6. Utilizar aire comprimido para eliminar la arena, polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

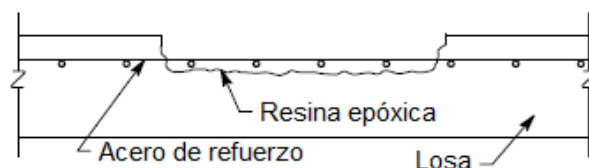


**Figura 5. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 2

1. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

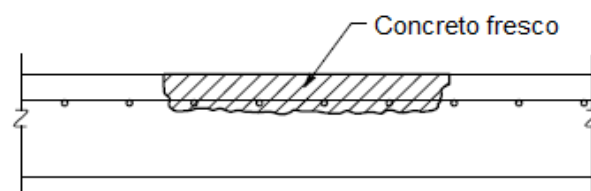


**Figura 6. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

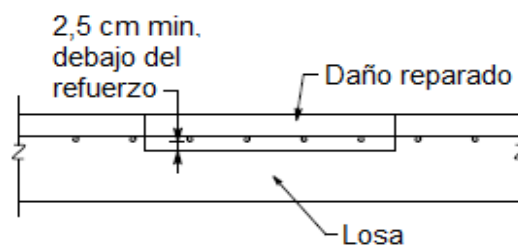
### Paso 3

1. Chorroar el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.
2. Nivelar la superficie de la losa de concreto antes que el concreto endurezca.
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y permitir que desarrolle el 80 % de la resistencia a la compresión o esperar 14 días después de la reparación antes de la apertura del tránsito.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 7. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 8. Daño reparado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## **D01-MP-B1 Reparación de acero expuesto en una baranda tipo New Jersey**

Objetivo: reestablecer la funcionalidad de la baranda y asegurar un tránsito seguro para los usuarios.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor.

### Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en la parte superior o en la totalidad de una baranda tipo New Jersey.
2. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
3. No se debe soldar el acero de refuerzo.
4. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
5. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.
6. Este procedimiento de reparación esta intencionado para daños graves con acero expuesto en la baranda.

### Especificaciones de los materiales

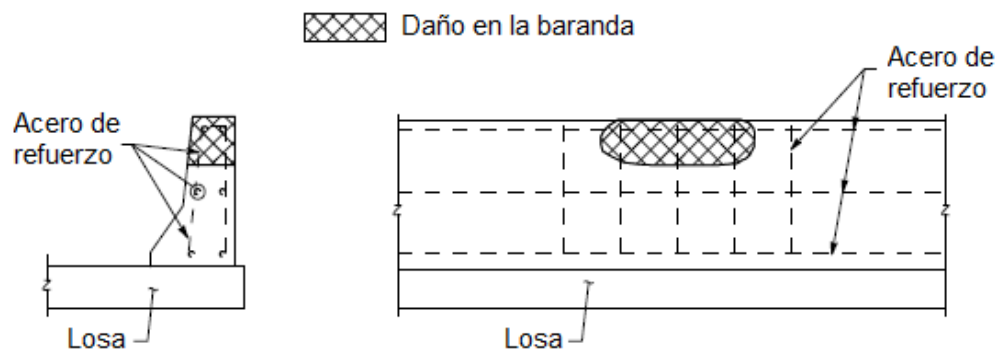
- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de  $310 \text{ kg/cm}^2$ : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60,  $f_y$ :  $4200 \text{ kg/cm}^2$  y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Esmeril angular
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones: Sección 603: reparación parcial o reposición total de barandas de puentes, Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, Sección 611: reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes, del MCV-2015 y la Actividad 815.03 – Standard Barrier Top Spall Repair del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

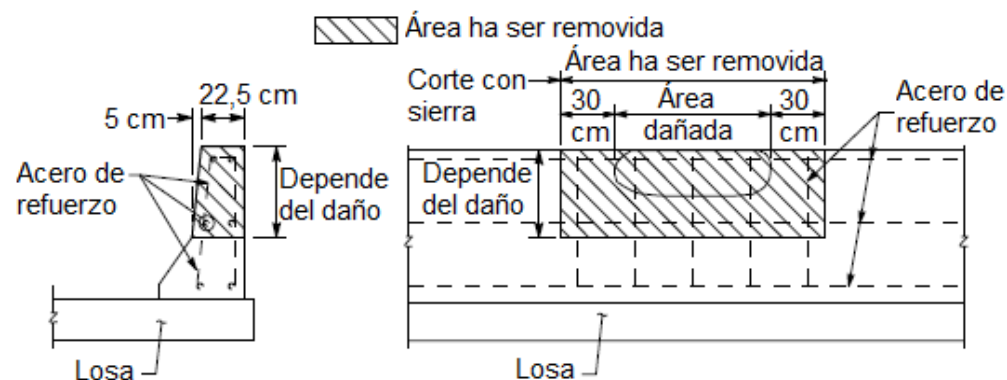


**Figura 9. Daño en la baranda.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza el área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado, se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra a una profundidad de 3 cm. En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, todo el concreto del área demarcada. Se debe tener la precaución de no dañar el acero de refuerzo.



**Figura 10. Paso 1.**

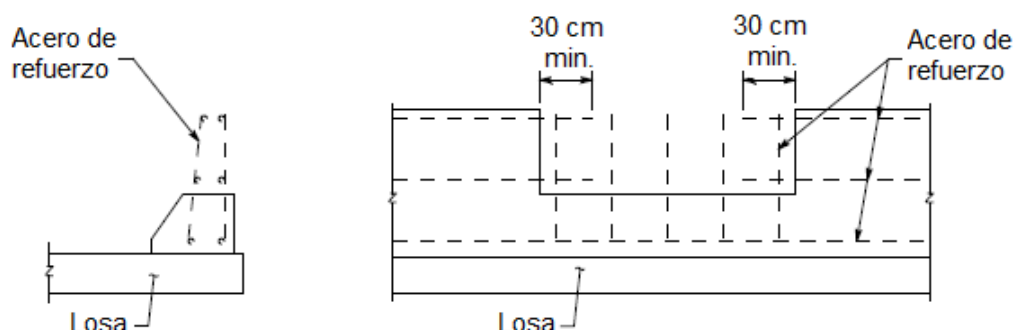
Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



## Paso 2

1. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.

2. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal o se encuentre deteriorado de alguna otra manera, se deben cortar las varillas, con un esmeril angular, asegurándose de dejar 30 cm para poder traslapar las nuevas varillas.



**Figura 11. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

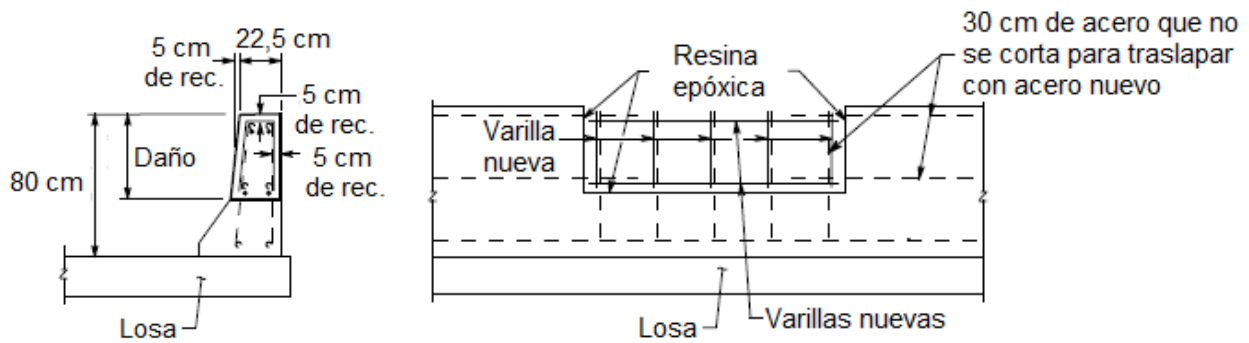
## Paso 3

1. Colocar las nuevas varillas de refuerzo (deben ser del mismo diámetro existente). Se deben fijar con alambre negro y tanto, las varillas nuevas como las viejas, se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.

2. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

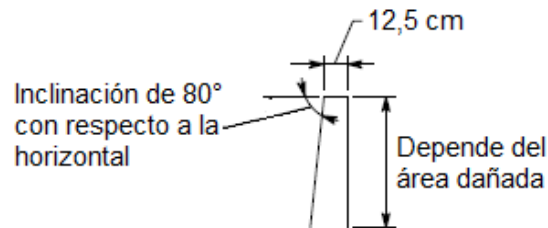
3. Colocar la formaleta, asegurándose de que la baranda nueva tenga la misma geometría que la baranda existente.

4. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.



**Figura 12. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

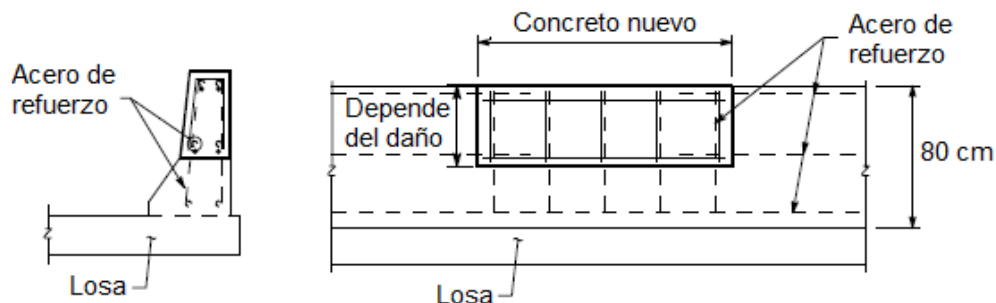


**Figura 13. Detalle transversal del acero.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

#### Paso 4

1. Chorroar el concreto de relleno justamente después de colocar la resina epóxica (siguiendo las instrucciones del fabricante). Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C. Posteriormente, se debe compactar mediante vibradores de inmersión.
2. Nivelar la superficie superior de la baranda con una llaneta para que tenga la misma geometría de la baranda existente.
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.
4. Remover la formaleta, limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 14. Paso 4.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## **D01-MP-P1 Reparación de acero expuesto en el cuerpo principal del bastión o pila**

Objetivo: reestablecer la integridad estructural de la pila o bastión y evitar que los daños empeoren.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor. En caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascamiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-P1 Reparación del descascamiento en la pila o en el bastión.

### Notas generales

1. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte del bastión o pila
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
4. No se debe soldar el acero de refuerzo.
5. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
6. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

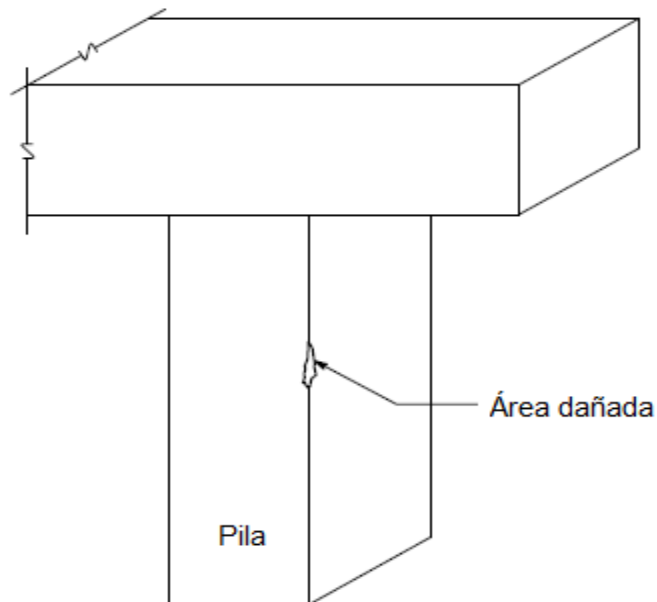
- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 310  $kg/cm^2$ : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60,  $F_y$ : 4200  $kg/cm^2$  y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Tiza

- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones: Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, Sección 611: reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.14 – Cap-Column Spall Repair – Full Depth del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

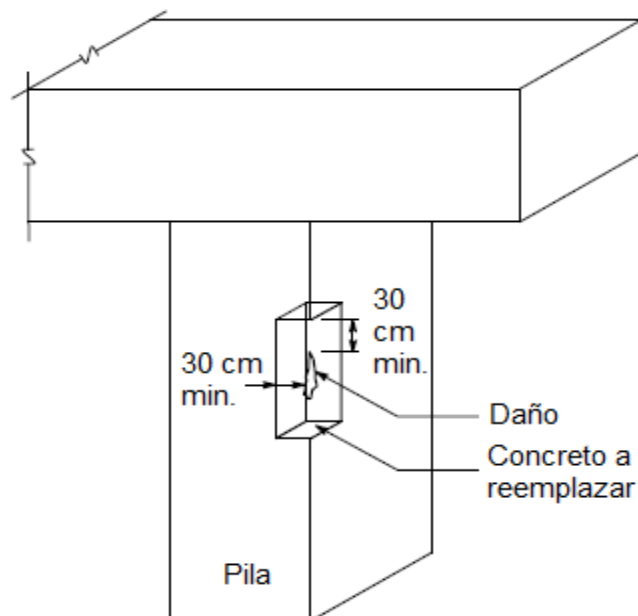


**Figura 15. Daño en la pila o bastión.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje vertical de la pila o bastión.

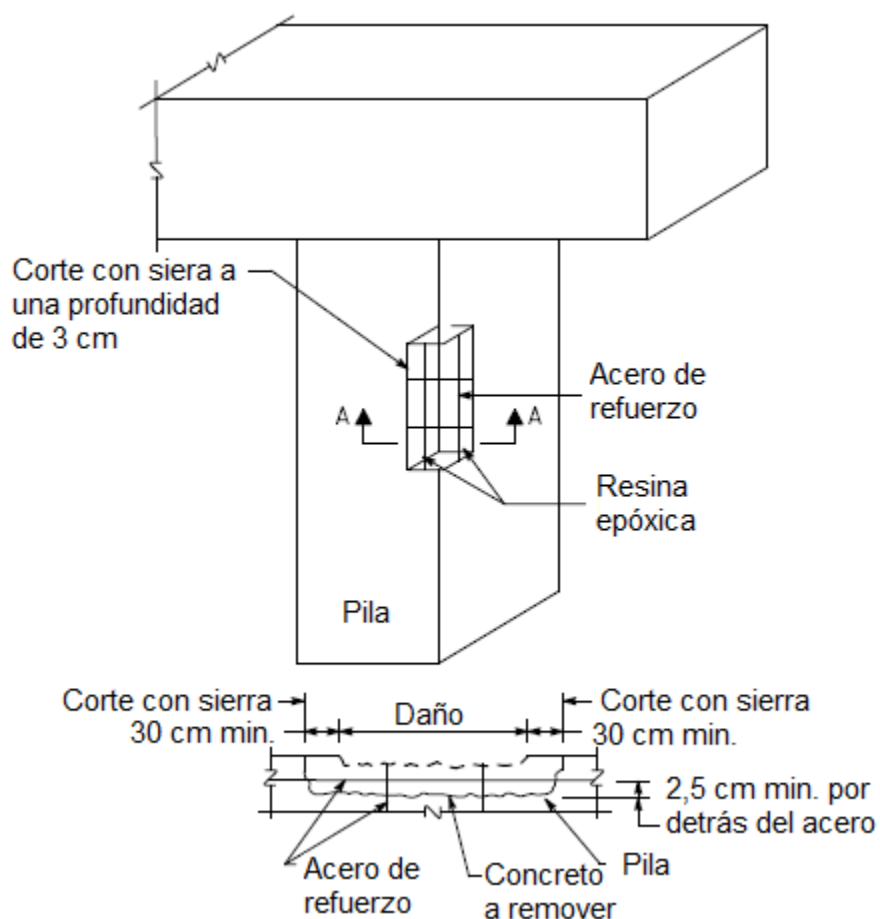


**Figura 16. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2

1. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.
2. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por detrás del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.
3. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
4. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto ( $l_{ar}$ ) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.
5. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.
6. Colocar la formaleta, asegurándose de que la pila o bastión mantenga la misma geometría que la existente.
7. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

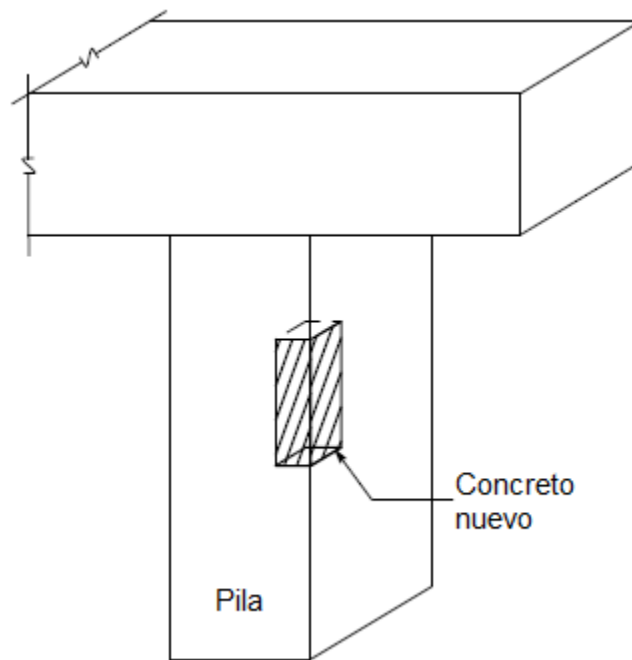


**Figura 17. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

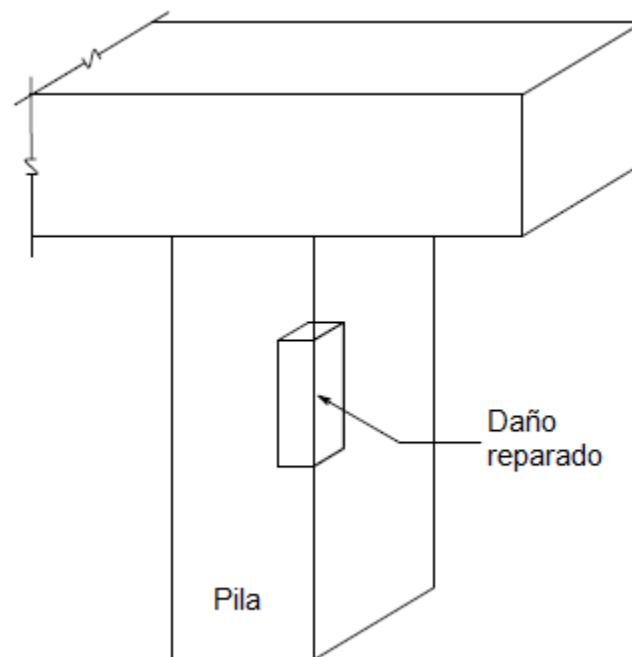
### Paso 3

1. Chorroar el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30°C.
2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.
3. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 18. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 19. Daño reparado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



## **D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa**

Objetivo: reestablecer la integridad estructural de las vigas y evitar que los daños se agraven.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor. En caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo el procedimiento D04-MR-V1 Reparación del descascaramiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.

### Notas generales

1. Este procedimiento NO se puede llevar a cabo en vigas pretensadas o postensadas.
2. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
3. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de las vigas.
4. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
5. No se debe soldar el acero de refuerzo.
6. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
7. En caso de que el área dañada sea mayor a 2500  $cm^2$  (equivalente a un cuadrado de 50x50 cm), se deben llevar a cabo estudios más detallados para llevar a cabo la reparación.
8. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

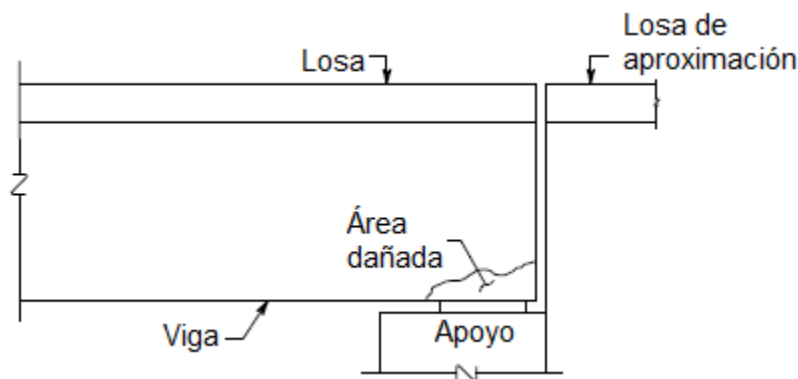
- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 310  $kg/cm^2$ : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200  $kg/cm^2$  y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza

- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Herramientas manuales, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones: Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, Sección 611: reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.22 – Spall Repair of RCDG del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.



**Figura 20. Daño en la viga.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares a los ejes de la viga.

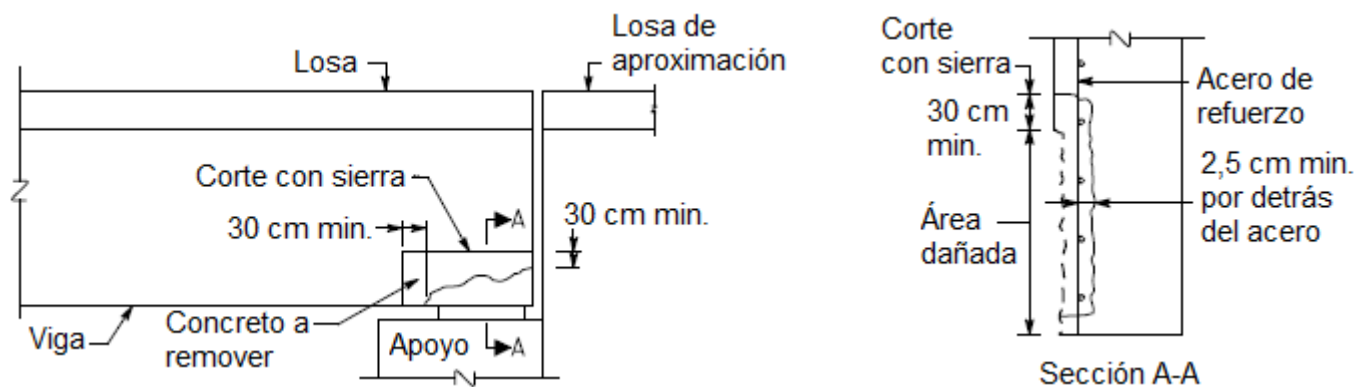
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.

3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por detrás del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.

4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.

5. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto ( $l_{ar}$ ) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.

6. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

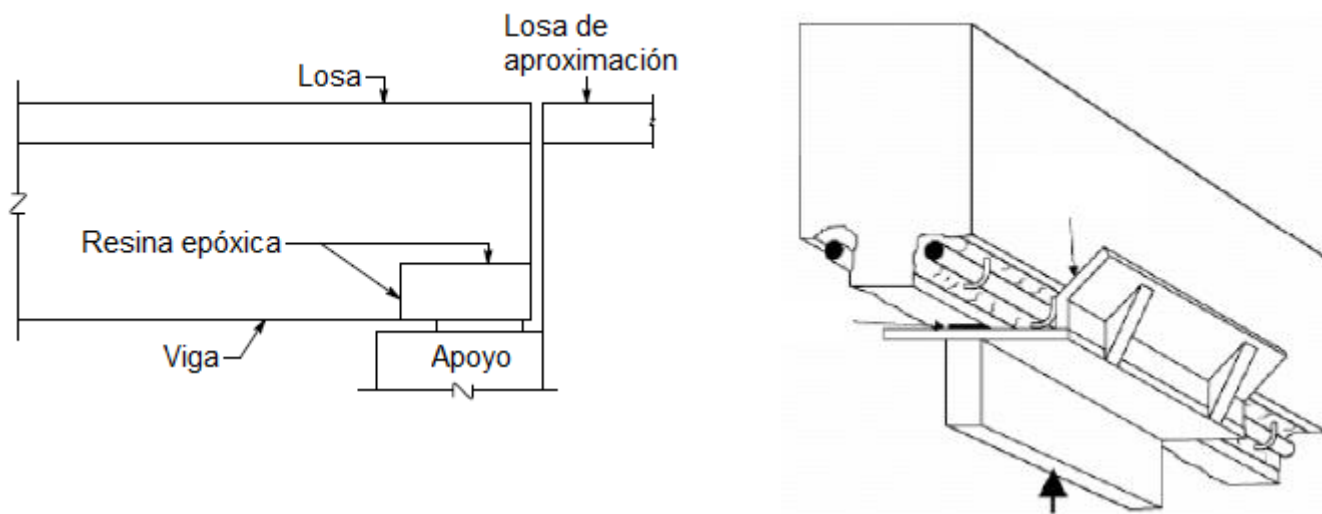


**Figura 21. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2.

1. Colocar la formaleta, asegurándose de que la viga mantenga la misma geometría que la existente.
2. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

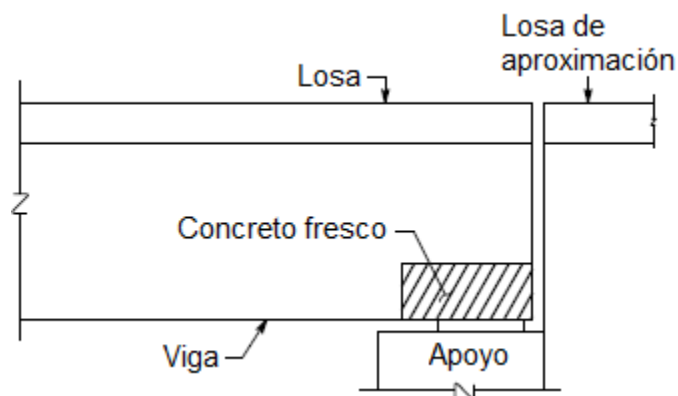


**Figura 22. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012) y JICA (2014), respectivamente.

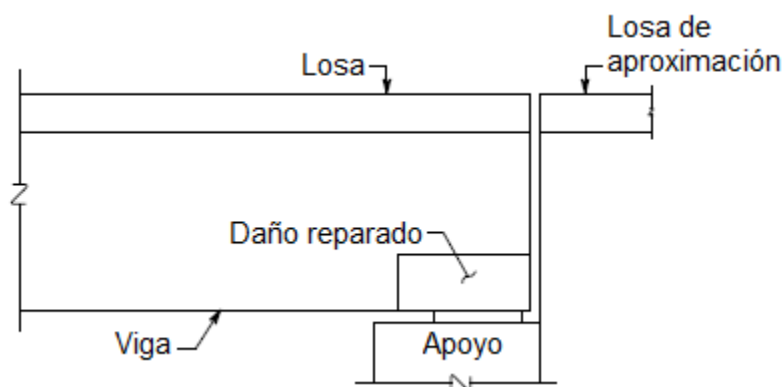
### Paso 3

1. Chorrear el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30°C.
2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.
3. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 23. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 24. Daño reparado**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## **D01-MP-T1 Reparación de acero expuesto mediante la instalación de ánodos galvánicos embebidos**

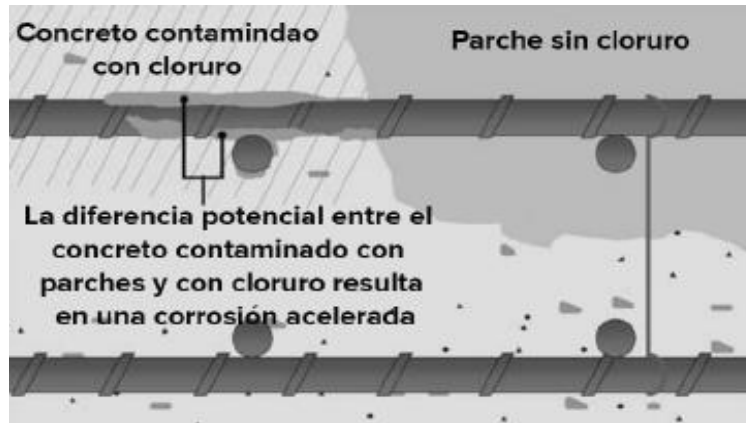
Objetivo: reestablecer la integridad funcional y estructural de los elementos de concreto, mediante la instalación de ánodos galvánicos, para evitar que los daños empeoren y extender la vida útil de los elementos.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de acero expuesto de 2 o mayor. En caso de ser grado 1, se refiere a que únicamente hay descascaramiento, por lo que se debe llevar a cabo algún procedimiento de este tipo.

### Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de concreto.
2. Este procedimiento NO se debe aplicar en vigas pretensadas o postensadas. Además, en vigas de concreto reforzado, en caso de que el área dañada sea mayor a  $2500 \text{ cm}^2$  (equivalente a un cuadrado de 50x50 cm), se deben llevar a cabo estudios más detallados para llevar a cabo la reparación.
3. Se recomienda el uso de este procedimiento en estructuras expuestas a cloruros, por ejemplo, en ambientes marinos.
4. Si el área de la reparación es de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr el acceso a dicha área. Esto puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
5. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura ambiente sea mayor a 32 °C.
6. No se debe soldar el acero de refuerzo.
7. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
8. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

Los procedimientos más comunes para reparar los daños por acero de refuerzo expuesto son los que implican la remoción del concreto dañado por concreto nuevo (procedimientos propuestos anteriormente). Sin embargo, este tipo de reparación (remover y hacer parches) en estructuras de concreto expuestas a cloruros pueden fallar prematuramente, debido a un efecto llamado anillo-anódico, también conocido como “aureola” (*halo* en inglés) (ACI E706, 2010). Este efecto se da en las áreas adyacentes a la reparación, debido a la incompatibilidad electroquímica entre el acero de refuerzo dentro de la zona reparada y el acero embebido dentro del concreto adyacente (ACI E706, 2010). En la siguiente figura, se puede observar el efecto anillo-anódico.



**Figura 25. Aceleración del proceso de corrosión en las áreas adyacentes a una reparación en estructuras expuestas a cloruros (efecto anillo- anódico).**

Fuente: ACI E706 (2010).

Debido a este efecto, en lugar de solamente reparar el daño físico, tal y como lo hace el método de reparación convencional, es que se desarrollan los ánodos de zinc embebidos para proteger el acero de refuerzo de la corrosión subyacente. Estos ánodos galvánicos embebidos suministran una pequeña corriente eléctrica, por medio de una reacción natural, mediante la cual el ánodo se corroe para proteger el acero de refuerzo en las proximidades de la zona reparada (ACI E706, 2010).

#### Especificaciones de los materiales

- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de  $310 \text{ kg/cm}^2$ : se debe preparar, transportar, colocar, vibrar y curar de acuerdo con la sección 552 del CR-2010.
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60,  $f_y$ :  $4200 \text{ kg/cm}^2$  y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Ánodos galvánicos y alambre para atarlos al acero de refuerzo.
- Lechada a base de cemento: para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

#### Herramientas

- Tiza
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Generador portátil
- Martillo demoledor
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Compresor de aire
- Medidor de ohmios (corriente directa) capaz de leer de 0 a 200 ohmios
- Batidora de concreto
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, Sección 611: reparación de superficie de desgaste de concreto hidráulico en puentes, la Subsección 501.16 Apertura del tránsito del CR-2010, del MCV-2015 y el procedimiento para la instalación de ánodos galvánicos embebidos del ACI RAP-8S.



## Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular.

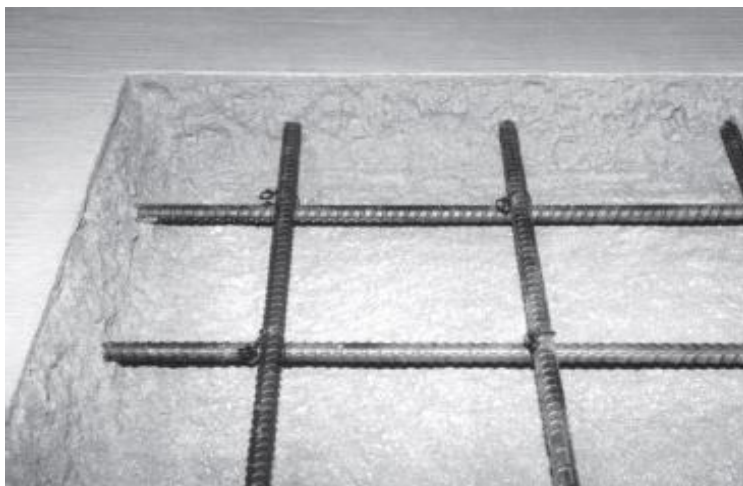
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.

3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por debajo del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.

4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.

5. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto ( $l_{ar}$ ) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual.

6. Utilizar aire comprimido para eliminar la arena, polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto. El acero debe quedar totalmente limpio con un acabado metálico brillante para facilitar la buena conexión eléctrica entre los ánodos y las varillas.



**Figura 26. Paso 1.**

Fuente: ACI E706 (2010).

## **Paso 2**

1. Previo a la instalación de los ánodos galvánicos, se debe verificar la continuidad eléctrica del acero de refuerzo, mediante el uso de un ohmímetro.

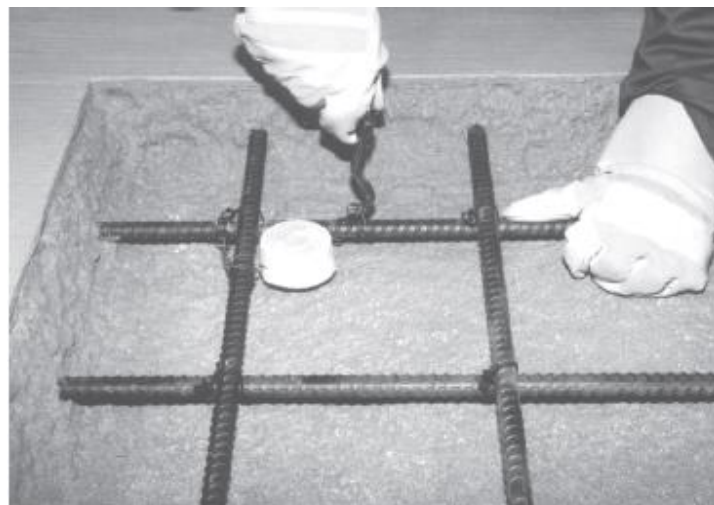
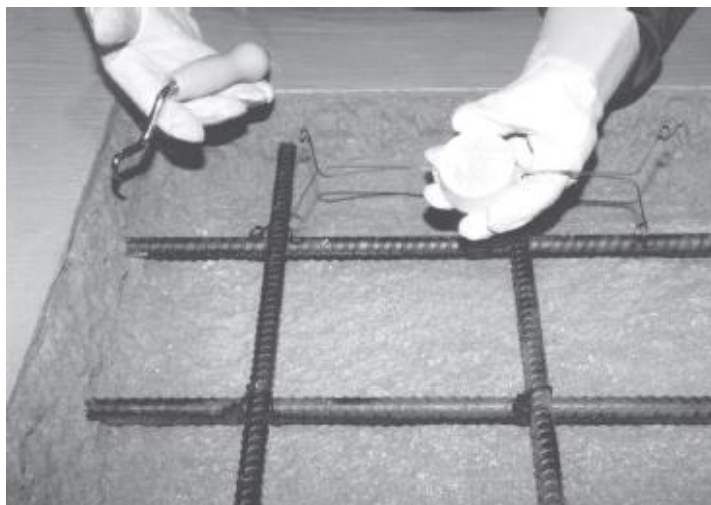


**Figura 27. Paso 2.**

Fuente: ACI E706 (2010).

## **Paso 3**

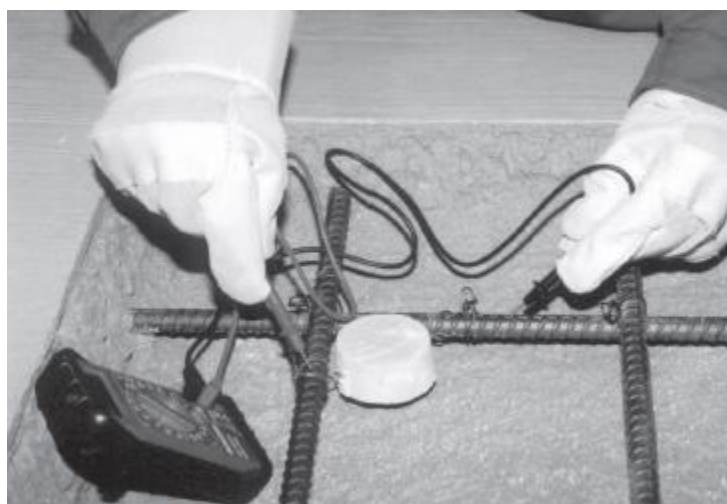
1. Atar, con alambre, los ánodos galvánicos al acero de refuerzo. El espaciamiento entre estos lo determina el fabricante, ya que depende de la densidad del acero, la corrosividad del ambiente y la masa de zinc del ánodo. De acuerdo con lo establecido por el (ACI E706, 2010), se debe dejar un espacio mínimo entre los ánodos y las superficies de concreto de por lo menos 19 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg.) o, 6 mm ( $\frac{1}{4}$  pulg.) mayor al tamaño máximo nominal del agregado grueso que se utilizará en el concreto de relleno (se deja el mayor espacio entre ambas medidas). Además, se debe mencionar que en caso de que exista menos de 2,5 cm (1 pulg.) de recubrimiento, el ánodo se debe colocar por detrás del acero de refuerzo, es decir, lejos de la superficie de concreto.



**Figura 28. Paso 3.**  
Fuente: ACI E706 (2010).

#### **Paso 4**

1. Luego de haber instalado los ánodos, se debe verificar la conexión eléctrica entre los ánodos y el acero de refuerzo. La resistencia de esta conexión debe ser menor a 1 ohmio.



**Figura 29. Paso 4.**  
Fuente: (ACI E706, 2010).

#### **Paso 5**

1. Para mejorar la adherencia entre la superficie de concreto existente (la superficie debe estar limpia, sana y firme) con la de concreto fresco se puede colocar una lechada de cemento. Sin embargo, para este procedimiento NO se deben utilizar resinas epóxicas o morteros modificados con polímeros para mejorar la adherencia, porque son materiales de alta resistividad (aislantes) que reducen considerablemente la corriente disponible y, por lo tanto, impiden que los ánodos funcionen correctamente.

2. Chorroar el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la lechada y compactar mediante vibradores de inmersión (verificar que los ánodos galvánicos se cubran completamente). Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C. Como se mencionó anteriormente, el concreto no debe ser modificado con polímeros y se debe resaltar que la resistividad de los materiales de relleno debe ser menor a 15000 ohm-cm.
3. Nivelar la superficie del elemento de concreto antes que el concreto endurezca, verificando que los ánodos galvánicos se hayan cubierto completamente.
4. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y, en el caso de las losas, permitir que desarrolle el 80 % de la resistencia a la compresión o esperar 14 días después de la reparación, antes de la apertura del tránsito.
5. Por último, se debe limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

## **D02 Remoción de la eflorescencia**

Definición: se refiere al carbonato de calcio que se encuentra en la superficie de concreto y se observa como manchas blancas en el concreto. Se puede dar en cualquier elemento de concreto.

### **Posibles causas**

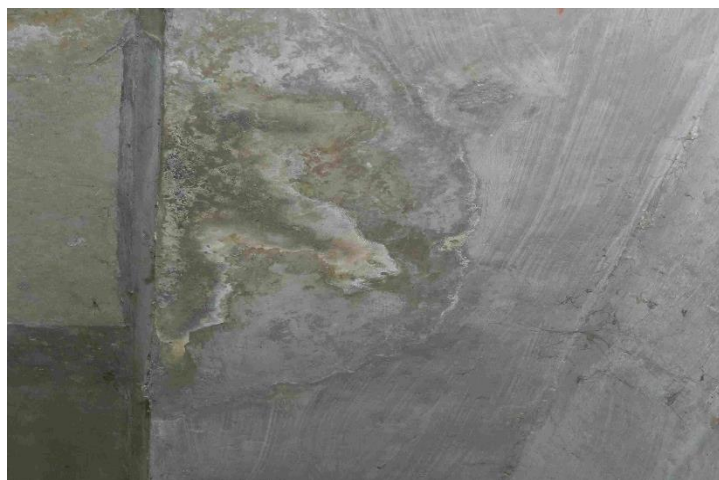
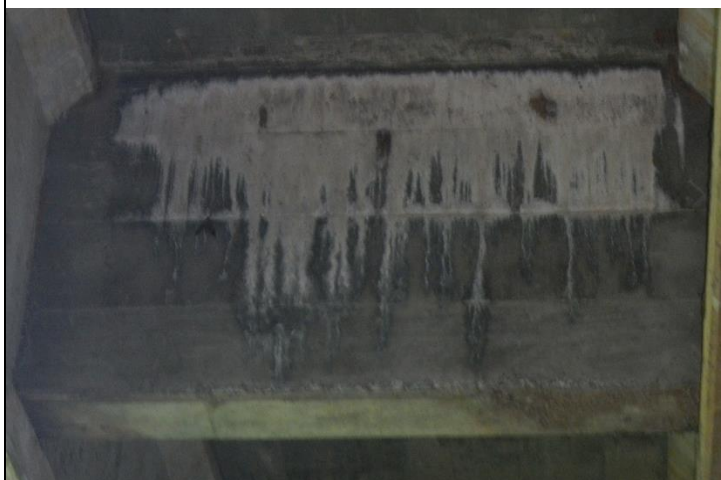
- El óxido de calcio (proveniente de la piedra caliza, componente del clínker) es soluble en agua y se disuelve para formar hidróxido de calcio, el cual puede migrar a la superficie del concreto por acción capilar a causa de la evaporación del agua en el concreto o la filtración del agua a través de las grietas. Cuando llega a la superficie reacciona con el dióxido de carbono y se forma el carbonato de calcio (no soluble en agua), el cual es el origen de las manchas blancas en el concreto.
- Ambientes húmedos.

### **Posibles consecuencias**

- No causa problemas estructurales, sin embargo, si se encuentra en una grieta significa que posiblemente existe corrosión en el acero.
- Señal de humedad en el área.
- Afecta la estética del puente.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la eflorescencia en diferentes elementos de concreto.





**Figura 30. Eflorescencia en diferentes elementos de concreto.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D02-MR-T1 Remoción de la eflorescencia mediante métodos manuales**

Objetivo: eliminar la eflorescencia de los elementos de concreto, y mejorar la estética del puente.

Criterio: este procedimiento se puede programar rutinariamente y en conjunto con actividades de limpieza general del puente. Debido a su baja productividad, se debe considerar únicamente en caso de que el área afectada no sea extensa (leer nota general #2).

### Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier elemento de concreto del puente que presente eflorescencia.
2. Debido a su baja productividad, se debe considerar únicamente en caso de que el área afectada no sea extensa, es decir que, en la inspección visual, el daño se haya calificado, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de daño 2 o inferior. En caso de que la puntuación sea mayor (daño más grave o en este caso, más extensa el área de la eflorescencia), se recomienda aplicar el procedimiento D02-MR-T2 Eliminación de la eflorescencia utilizando lijadora electromecánica.
3. No se requiere mano de obra especializada.
4. En caso de que el área con eflorescencia sea de difícil acceso, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para alcanzar el área y aplicar el procedimiento. Esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
5. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
6. Verificar la magnitud de la eflorescencia antes de solicitar los materiales para su eliminación.

### Especificaciones de los materiales

- No se requieren materiales

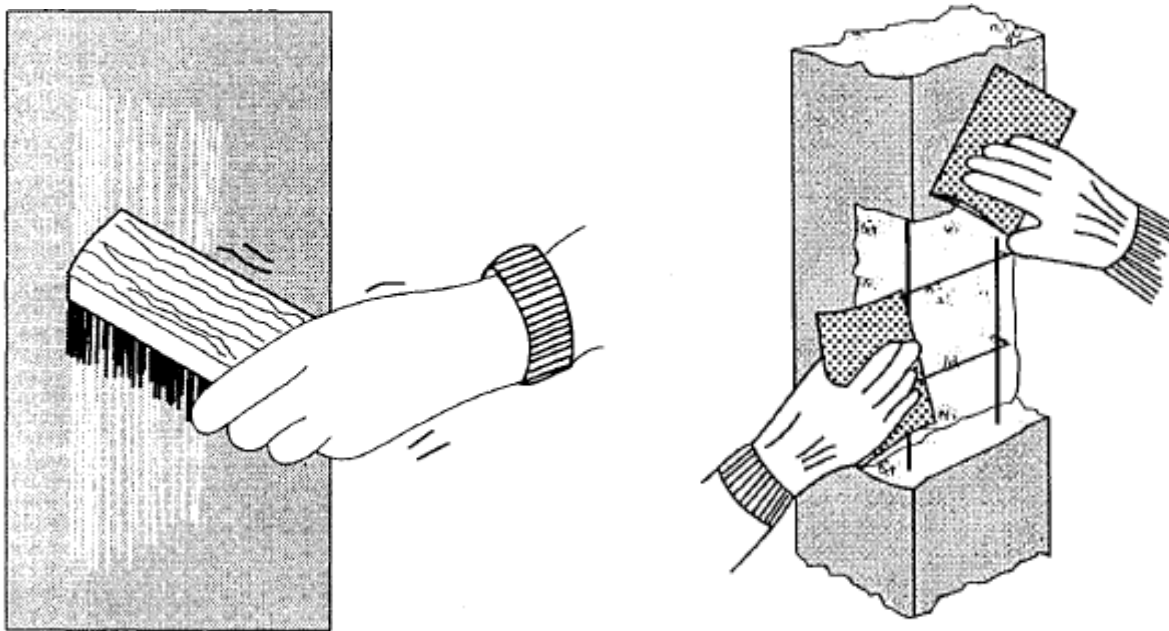
### Herramientas

- Lija de agua para concreto
- Cepillo de cerdas de acero
- Escobas
- Escobillas

Especificaciones: Sección 4.1.7 Cepillado manual, 4.1.5 Lijado Manual, del Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto.

### Paso 1

1. Se debe cepillar o lijar manualmente la superficie de concreto afectada hasta la completa remoción de la eflorescencia. En el caso de la lija, se tiene que humedecer con agua y se debe pasar haciendo movimiento circulares y enérgicos sobre la superficie.



**Figura 31. Cepillado y lijado manual.**

Fuente: Do Lago Helene (1997).



## **D02-MR-T2 Remoción de la eflorescencia utilizando lijadora electromecánica**

Objetivo: eliminar la eflorescencia de los elementos de concreto, y mejorar la estética del puente.

Criterio: este procedimiento se puede programar rutinariamente y en conjunto con actividades de limpieza general del puente. Es muy eficiente para cualquier área de extensión de eflorescencia, sin embargo, se debe considerar que se necesita un generador portátil (leer nota general #2).

### Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier elemento de concreto del puente que presente eflorescencia.
2. Debido a su alta productividad, este método se debe considerar siempre que haya disponible un generador portátil. Además, se recomienda este método en caso de que el área afectada sea muy extensa, es decir, que en la inspección visual, el daño se haya calificado, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de daño mayor de 2.
3. Utilizar la lijadora electromecánica para eliminar la eflorescencia produce mucho polvo por lo que es indispensable el uso de mascarillas y anteojos de seguridad por parte de los trabajadores.
4. En caso de que el área con eflorescencia sea de difícil acceso, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para alcanzar el área y aplicar el procedimiento. Esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
5. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
6. Verificar la magnitud de la eflorescencia antes de solicitar los materiales para su eliminación.

### Especificaciones de los materiales

- No se requieren materiales

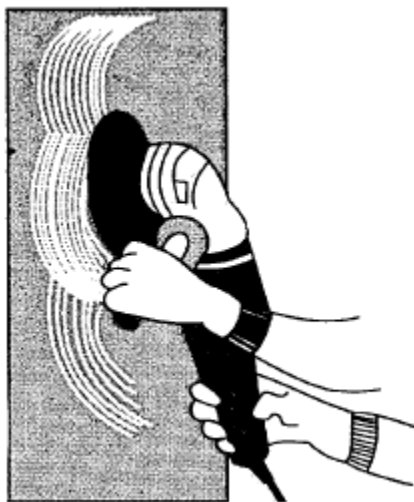
### Herramientas

- Disco de lija acoplado a una lijadora electromecánica o a un esmeril angular
- Generador portátil
- Escobas
- Escobillas

Especificaciones: 4.1.6 Lijado Eléctrico, del Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto.

### **Paso 1**

1. En la superficie de concreto afectada, se debe mantener la lija paralela a la superficie que se está tratando, procurando hacer movimientos circulares.
2. Se debe aplicar hasta eliminar completamente la eflorescencia u otras impurezas del concreto.
3. Al terminar, se debe limpiar el polvo del área lijada y las áreas adyacentes, con una escoba.



**Figura 32. Lijado utilizando una lijadora electromecánica.**

Fuente: Do Lago Helene (1997).

## **D02-MR-T3 Remoción de la eflorescencia lavando con soluciones ácidas**

Objetivo: eliminar la eflorescencia de los elementos de concreto, y mejorar la estética del puente.

Criterio: este procedimiento se puede programar rutinariamente y en conjunto con actividades de limpieza general del puente. Eficiente para la limpieza de grandes áreas donde no haya acero expuesto o próximo a la superficie (leer nota general #2)

### Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier elemento de concreto del puente que presente eflorescencia.
2. Su empleo es aconsejado para la limpieza de grandes áreas, es decir, que en la inspección visual, el daño se haya calificado, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de daño mayor de 2. Además, solamente se puede aplicar para tratamientos de limpieza superficial, donde no exista descascaramiento, grietas o acero de refuerzo expuesto, debido a que existe la posibilidad de infiltración de agentes ácidos en la estructura.
3. En caso de que el área con eflorescencia sea de difícil acceso, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para alcanzar el área y aplicar el procedimiento. Esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
4. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
5. Verificar la magnitud de la eflorescencia antes de solicitar los materiales para su eliminación.

### Especificaciones de los materiales

- Ácido muriático

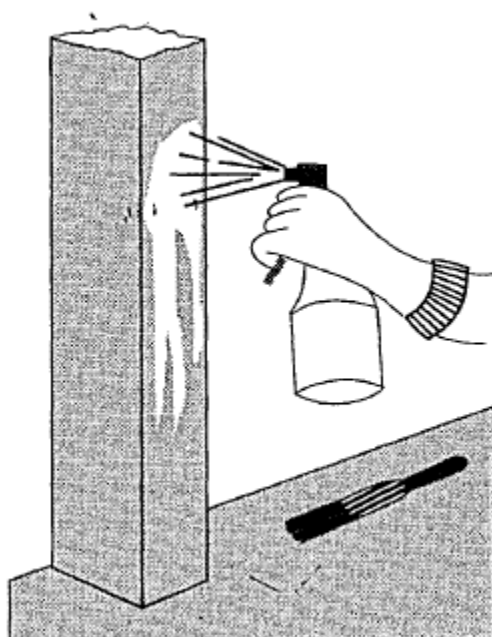
### Herramientas

- Pulverizador (rociador)
- Brocha
- Pincel
- Escoba
- Escobillas

Especificaciones: 4.2.4 Lavado con soluciones ácidas, del Manual para reparación, refuerzo y protección de las estructuras de concreto.

### **Paso 1**

1. Antes de aplicar en la superficie de concreto afectada, se debe saturar la estructura con agua limpia para evitar la penetración del ácido en el concreto sano.
2. Preparar la solución de ácido muriático diluido en agua, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
3. Aplicar la solución en el área afectada utilizando un pulverizador, brocha, pincel, escoba o escobilla. La efervescencia es señal de descontaminación. Inmediatamente después de la reacción, lavar la estructura con abundante agua limpia, para la remoción de las partículas sólidas y residuos de la solución utilizada.



**Figura 33. Lavado con soluciones ácidas.**

Fuente: Do Lago Helene (1997).

### **D03 Reparación de nidos de piedra**

Definición: es la segregación del agregado grueso en la mezcla de concreto.

Elementos en los que se pueden dar nidos de piedra:

1. Viga principal o diafragma de concreto
2. Cuerpo principal de bastión o pila

Posibles causas:

- Se da debido a procesos de construcción inadecuados, por ejemplo: chorrear el concreto desde una altura considerable, alto revenimiento con mucha vibración o bajo revenimiento con poca vibración, exceso o inexistencia de vibrado. Esto causa que el concreto se segregue, formando los nidos de piedra al endurecerse.
- Si el espaciamiento entre las varillas de acero o armadura y formaleta es menor al estipulado por el ACI, causa que el agregado grueso se quede atascado en estas zonas causando nidos de piedra.

Posibles consecuencias:

- Disminuye la durabilidad del concreto, debido a que no desarrolla la resistencia de diseño, además, se acumula maleza, polvo, basura, entre otros, afectando a mediano plazo la vida útil del concreto.
- El recubrimiento de concreto no protege adecuadamente el acero, por lo que se presentan problemas de corrosión en el acero de refuerzo.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar nidos de piedra en diferentes elementos de concreto.



**Figura 34. Nidos de piedra en el concreto.**  
Fuente: PEEP (2018).

### **D03-MP-P1 Reparación de nidos de piedra en el cuerpo principal del bastión o pila**

Objetivo: reestablecer la integridad estructural de la pila o bastión y evitar que los daños empeoren.

Criterio: de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de nido de piedra.

#### Notas generales

1. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte del bastión o pila
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
4. No se debe soldar el acero de refuerzo.
5. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
6. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

#### Especificaciones de los materiales

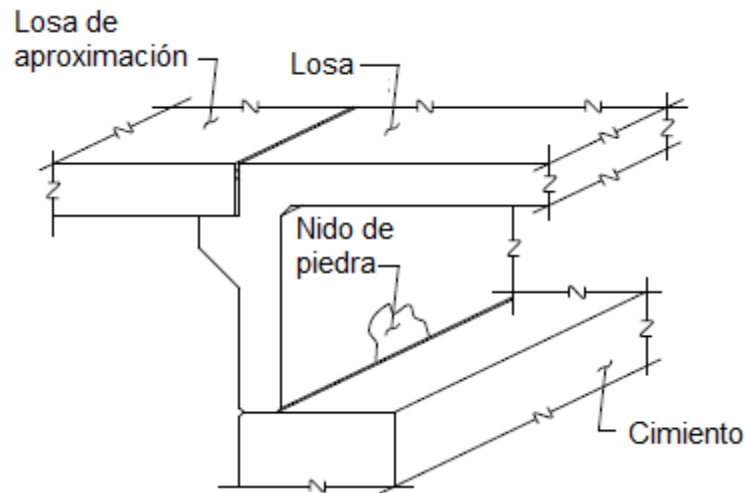
- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de  $255 \text{ kg/cm}^2$ : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy:  $4200 \text{ kg/cm}^2$  y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

#### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Tiza
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones: Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.14 – Cap-Column Spall Repair – Full Depth del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.





**Figura 35. Daño en la pila o bastión.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

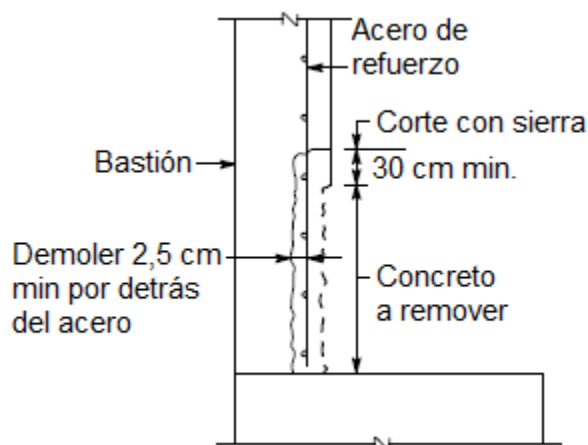
### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje vertical de la pila o bastión.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por detrás del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.
4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro de arena debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
5. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto ( $l_{ar}$ ) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de

acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.

6. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

7. Colocar la formaleta, asegurándose de que la pila o bastión mantenga la misma geometría que la existente.

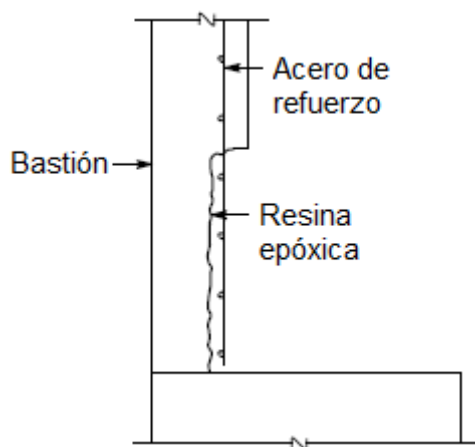


**Figura 36. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2

1. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

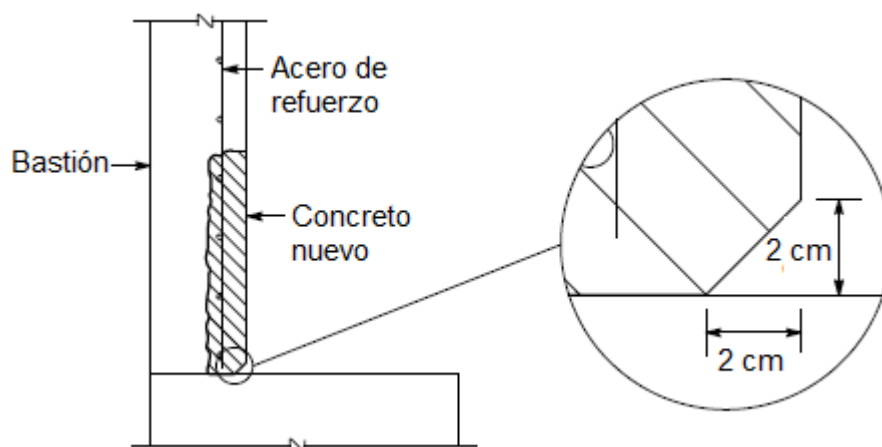


**Figura 37. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

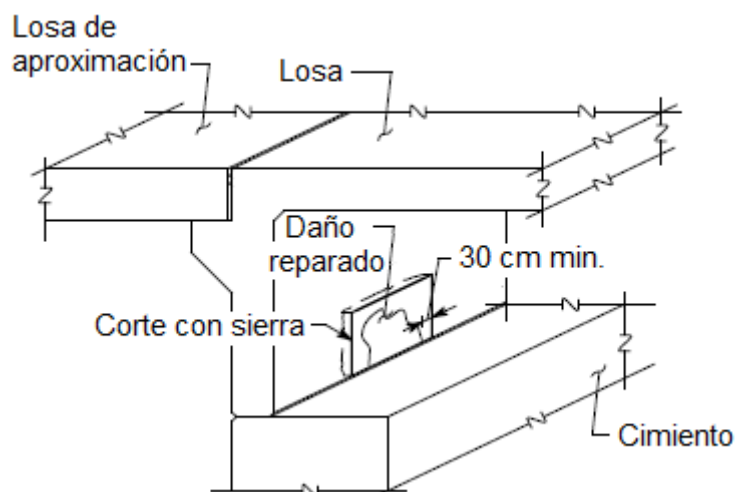
### Paso 3

1. Chorroar el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.
2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.
3. Cortar con sierra 2 cm de la esquina inferior del bastión (ver detalle en la siguiente figura).
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 38. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 39. Daño reparado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### **D03-MP-V1 Reparación de nidos de piedra en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa**

Objetivo: reestablecer la integridad estructural de la viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa, y evitar que los daños empeoren.

Criterio: de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de nido de piedra.

#### Notas generales

1. Este procedimiento NO se puede llevar a cabo en vigas pretensadas o postensadas.
2. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
3. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de las vigas.
4. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
5. No se debe soldar el acero de refuerzo.
6. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
7. En caso de que el área dañada sea mayor a 2500  $cm^2$  (equivalente a un cuadrado de 50x50 cm), se deben llevar a cabo estudios más detallados para llevar a cabo la reparación.
8. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

#### Especificaciones de los materiales

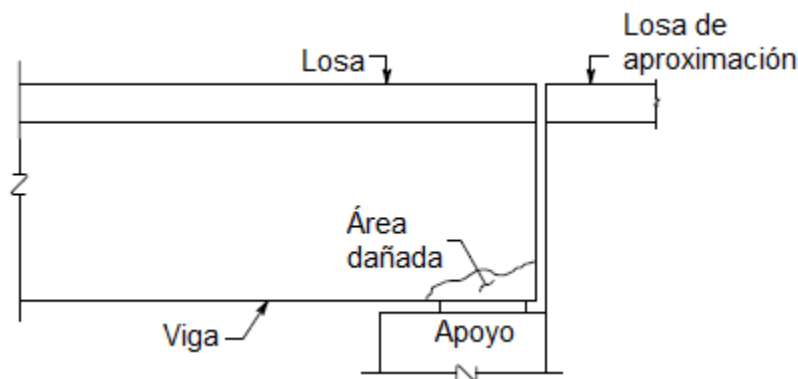
- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de 255  $kg/cm^2$ : los materiales, la mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60, fy: 4200  $kg/cm^2$  y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.

#### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor

- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones: Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.22 – Spall Repair of RCDG del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.



**Figura 40. Daño en la viga.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Se debe incluir dentro del área a remover 30 cm adicionales a partir del límite entre el concreto sano y el dañado. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares a los ejes de la viga.

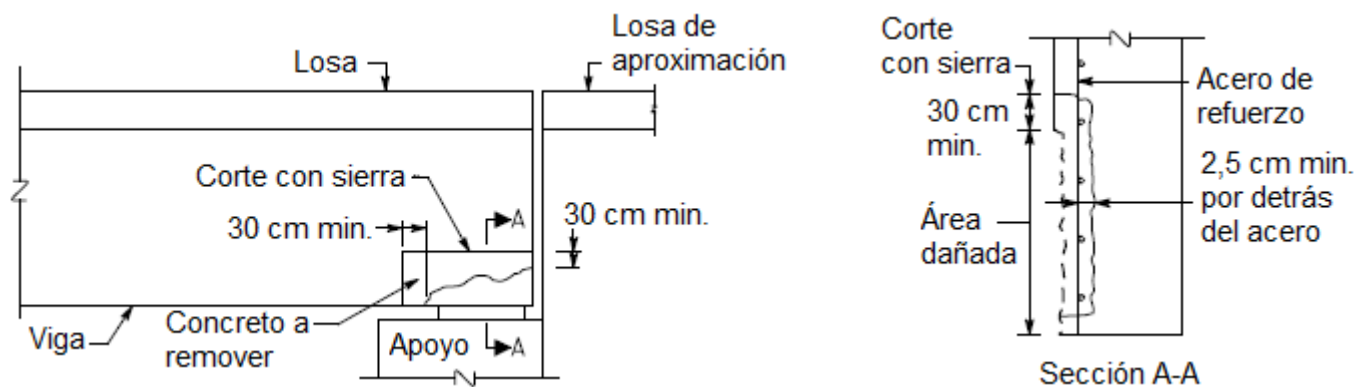
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente 3 cm. El corte se debe extender aproximadamente 2,5 cm en cada intersección entre los cortes (en las esquinas). En caso de que la armadura esté a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas.

3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano. Se debe demoler hasta una profundidad mínima de 2,5 cm por detrás del acero de refuerzo, teniendo la precaución de no dañar las armaduras.

4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.

5. En caso de que el acero presente una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (o más de 20 % si dos o más varillas adyacentes son afectadas), se debe fijar con alambre negro una varilla adicional del mismo diámetro a la varilla dañada. La longitud de anclaje recto ( $l_{ar}$ ) de esta varilla se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las nuevas y viejas varillas se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.

6. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

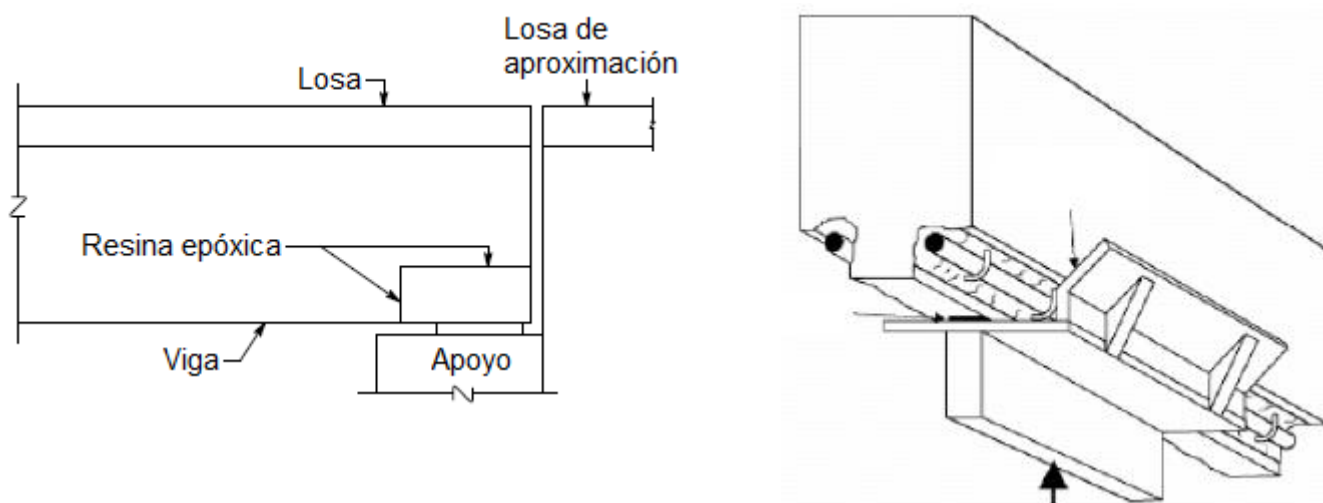


**Figura 41. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2.

1. Colocar la formaleta, asegurándose de que la viga mantenga la misma geometría que la existente.
2. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

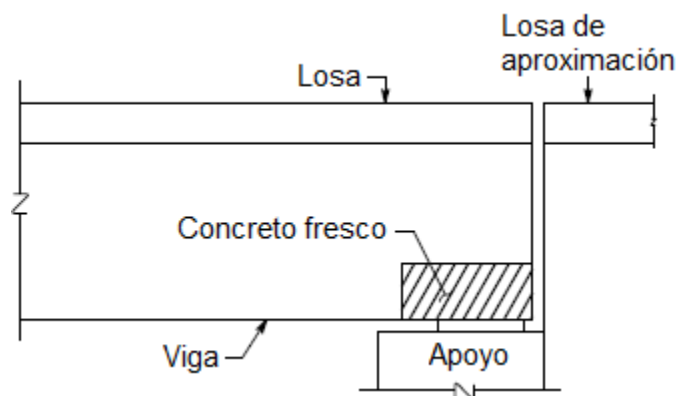


**Figura 42. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012) y JICA (2014), respectivamente.

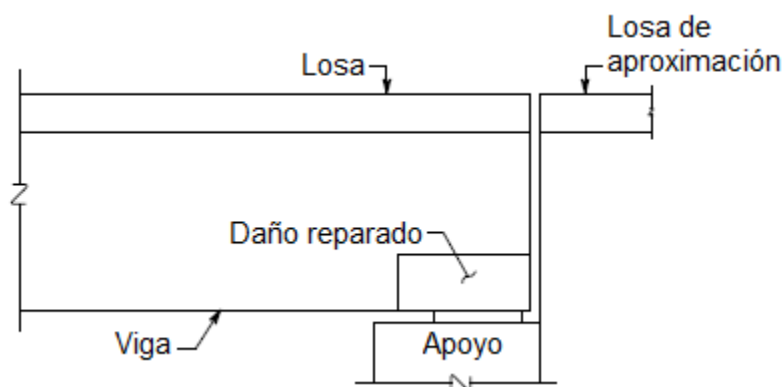
### Paso 3

1. Chorrear el concreto de relleno en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica y compactar mediante vibradores de inmersión. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.
2. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.
3. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 43. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 44. Daño reparado**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



## D04 Reparación del descascaramiento

Definición: es la delaminación o el desprendimiento de una superficie de concreto en algún elemento de concreto reforzado.

El descascaramiento se puede dar en los siguientes elementos:

1. Losa
2. Baranda de concreto
3. Viga principal o diafragma de concreto
4. Cuerpo principal de bastión o pila

Posibles causas:

- Malas prácticas constructivas, por ejemplo, formación de nidos de piedra, o que el concreto no desarrolle la resistencia adecuada debido a que se omiten pruebas de control de calidad como la de resistencia a la compresión y revenimiento. También puede pasar por: remoción prematura o inadecuada de la formaleta, curado insuficiente, entre otras.
- Cuando el acero se corroe, aumenta su volumen, causando la delaminación del concreto, esta corrosión puede ocurrir por: recubrimiento insuficiente, grietas, pobre calidad del concreto, mala adherencia entre el concreto y el acero, entre otras. A la hora de la reparación, se debe tomar en cuenta que los límites de la corrosión suelen ser más grandes que el área de delaminación.
- Contracción y expansión debido a cambios de temperatura y humedad.
- En caso de que circulen cargas vehiculares mayores a las de diseño, ya que provocan compresión excesiva en el concreto.
- Carbonatación: sucede cuando el dióxido de carbono presente en el ambiente reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y con el hidróxido de calcio (alto pH), formando carbonato de calcio (pH más neutral). Cuando el concreto disminuye su pH, disminuye su capacidad de proteger el acero. Según (Emmons, 1994), es un proceso muy lento que avanza aproximadamente 1 mm por año en concreto de buena calidad y para que suceda requiere de un cambio constante en los niveles de humedad del concreto (seco-húmedo). Cuando la carbonatación llega al acero, se corroe causando delaminación.
- Ataque de cloruros.
- Filtración de agua a través de las grietas.

Posibles consecuencias:

- Si llega hasta el acero causa, este se oxida y, posteriormente, se corroe, afectando la capacidad estructural del elemento.
- Si ocurre en una parte del concreto sometido a compresión puede significar la disminución de la capacidad soportante del elemento.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar el descascaramiento en diferentes elementos de concreto.



**Figura 45. Descascaramiento del concreto.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D04-MR-L1 Reparación del descascaramiento en la losa**

Objetivo: mantener la losa en buenas condiciones para prevenir daños más graves, tales como, baches, acero expuesto, corrosión, entre otros, y asegurar un tránsito cómodo y fluido para los usuarios.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con descascaramiento de grado de 4 o menor. En caso de ser grado 5, se debe aplicar el procedimiento D01-MP-L1 Reparación del acero expuesto en la losa. Este procedimiento se debe programar rutinariamente.

### Notas generales

1. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de la losa.
2. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura sea mayor a 32 °C.
3. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

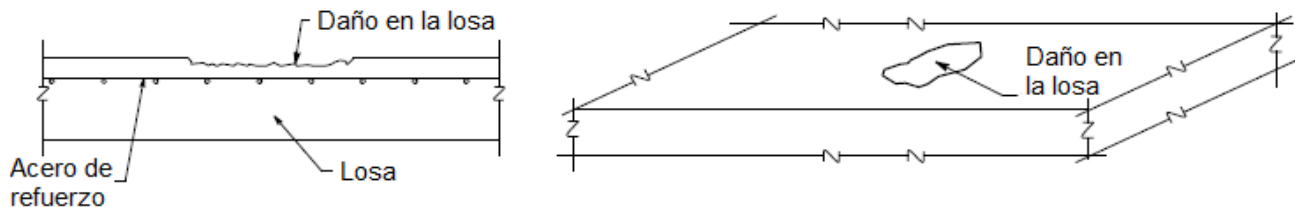
- Mortero de alta resistencia inicial: debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el mortero fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).

### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 607: reparación superficial de elementos de concreto en puentes, del MCV-2015, Subsección 501.16 Apertura del tránsito del CR-2010 y la Actividad 810.01 – Deck Spall Repair del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation rRepair Manual, de Georgia.



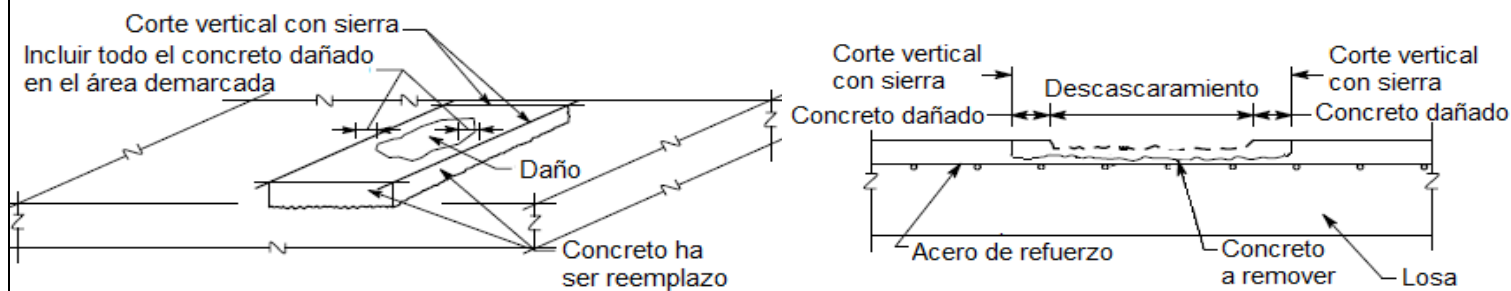


**Figura 46. Daño en la losa.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado, se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje de la calzada.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente a la misma profundidad del descascaramiento.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano y firme. En caso de que se llegue hasta el acero de refuerzo se debe aplicar el procedimiento D01-MP-L1 Reparación del acero expuesto en la losa.
4. Utilice aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

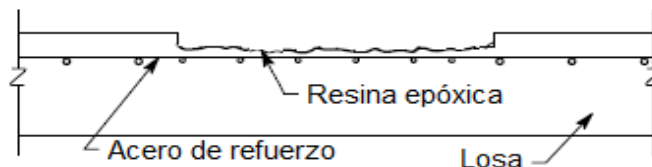


**Figura 47. Paso 1**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2

1. Antes de colocar el mortero, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (siguiendo las instrucciones del fabricante) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.



**Figura 48. Paso 2**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

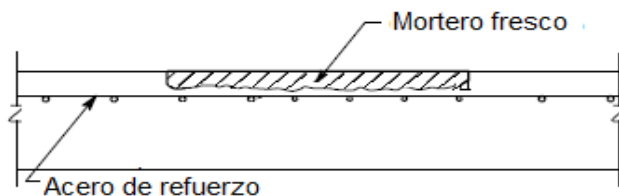
## Paso 3

1. Colocar el mortero (según las especificaciones del fabricante) en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.

2. Darle acabado a la superficie de la losa de concreto con una llaneta antes que el mortero endurezca.

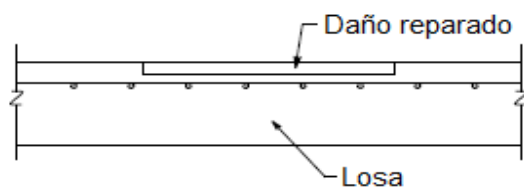
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el mortero.

4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 49. Paso 3**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 50. Daño reparado**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 51. Daño antes y después de la reparación.**  
Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## **D04-MR-P1 Reparación del descascaramiento en la pila o en el bastión**

Objetivo: mantener las pilas y bastiones en buenas condiciones para prevenir daños más graves, como el acero expuesto.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con descascaramiento de grado de 4 o menor. En caso de ser grado 5, se debe aplicar el procedimiento D01-MP-P1 Reparación de acero expuesto en el cuerpo principal del bastión o pila. Este procedimiento se debe programar rutinariamente.

### Notas generales

1. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte del bastión o pila
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
4. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
5. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

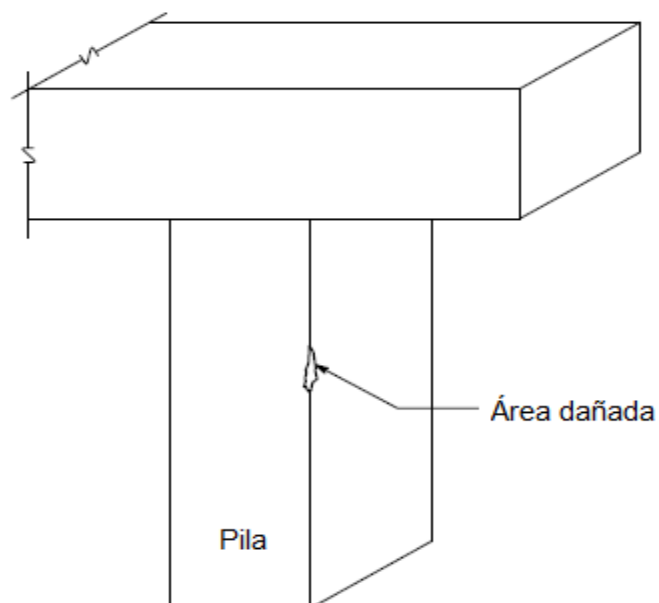
### Especificaciones de los materiales

- Mortero de alta resistencia inicial: debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el mortero fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).

### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Tiza
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 607: reparación superficial de elementos de concreto en puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.15 – Cap-Column Spall Repair – Surface del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

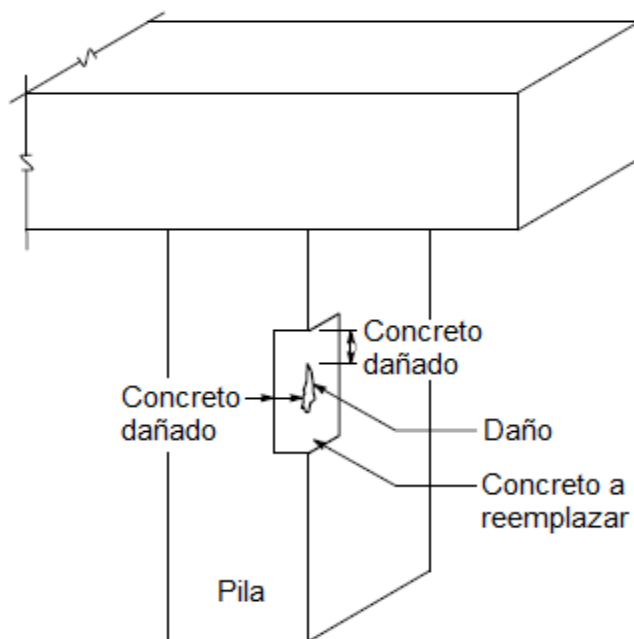


**Figura 52. Daño en la pila o bastión.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado, se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares al eje vertical de la pila o bastión.



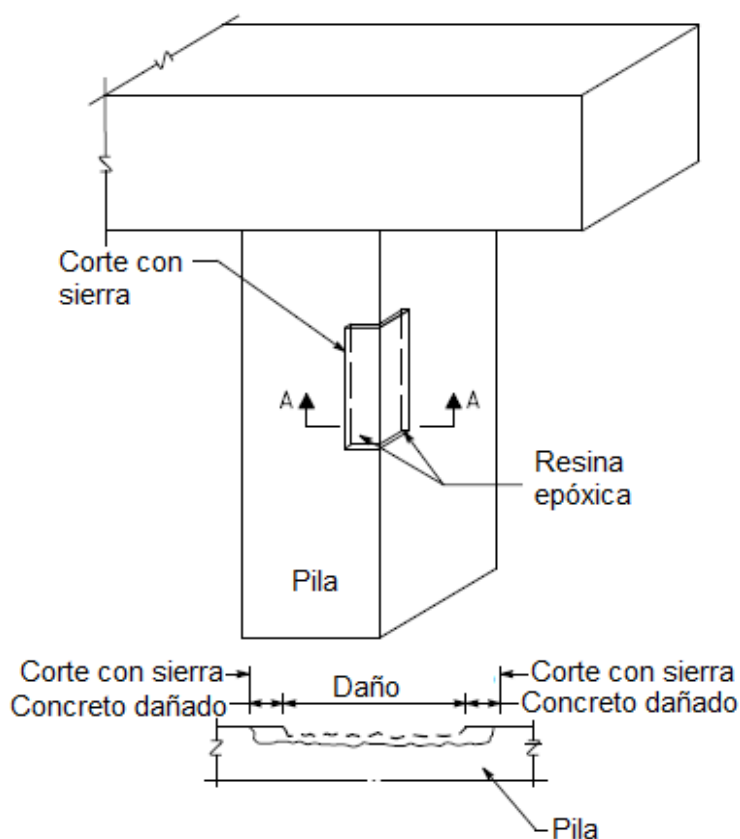
**Figura 53. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



## Paso 2

1. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra verticalmente a la misma profundidad del descascaramiento.
2. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano y firme. En caso de que se llegue hasta el acero de refuerzo se debe aplicar el procedimiento D01-MP-P1 Reparación de acero expuesto en el cuerpo principal del bastión o pila.
3. Utilice aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.
4. Antes de colocar el mortero, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (siguiendo las instrucciones del fabricante) para mejorar la adherencia entre el mortero fresco y el concreto endurecido.

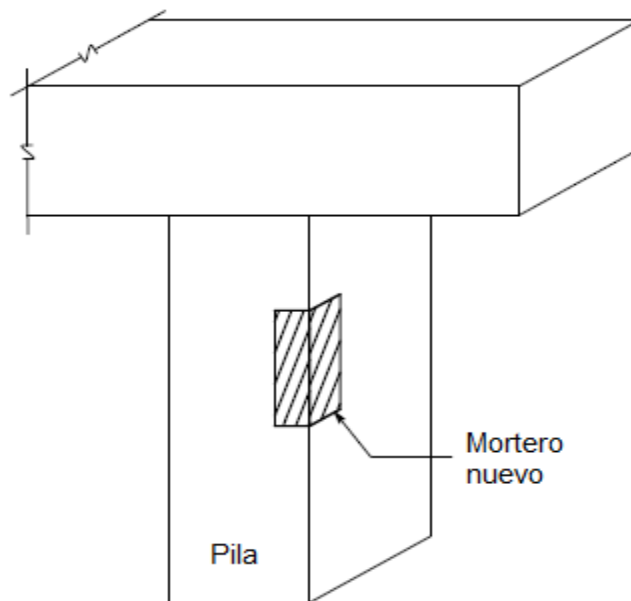


**Figura 54. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

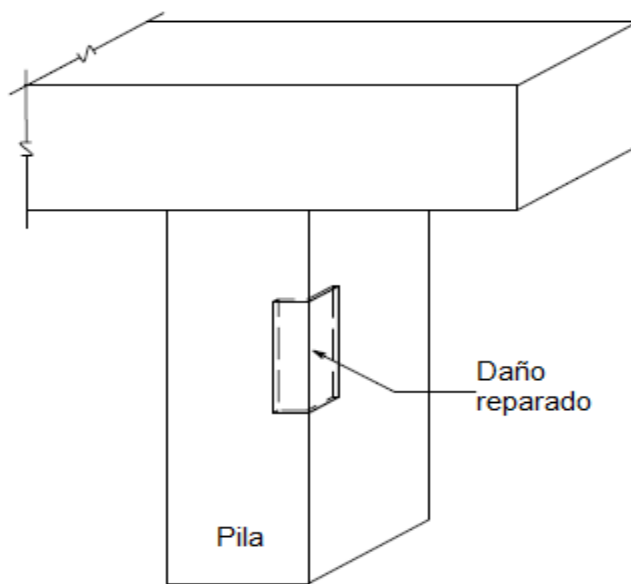
### Paso 3

1. Colocar el mortero (según las especificaciones del fabricante) en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30°C.
2. Darle acabado a la superficie de concreto del bastión o pila con una llaneta antes que el mortero endurezca.
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el mortero.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 55. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 56. Daño reparado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## **D04-MR-V1 Reparación del descascaramiento en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa**

Objetivo: mantener las vigas principales, diafragmas de concreto y la parte inferior de las losas en buenas condiciones para prevenir daños más graves, como el acero expuesto.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con descascaramiento de grado de 4 o menor. En caso de ser grado 5, se debe aplicar el procedimiento D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa. Este procedimiento se debe programar rutinariamente.

### Notas generales

1. Para poder llevar a cabo este procedimiento, el ingeniero encargado debe definir la mejor manera para lograr el acceso al área dañada, esta puede ser mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de las vigas.
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
4. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
5. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

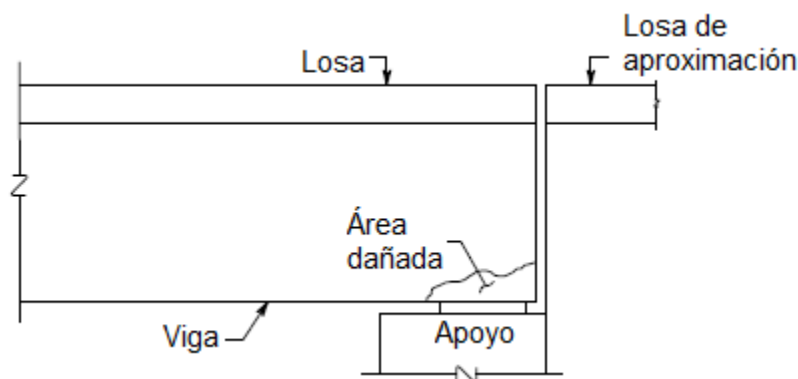
### Especificaciones de los materiales

- Mortero de alta resistencia inicial: debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el mortero fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).

### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Tiza
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 607: reparación superficial de elementos de concreto en puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.22 – Spall Repair of RCDG del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

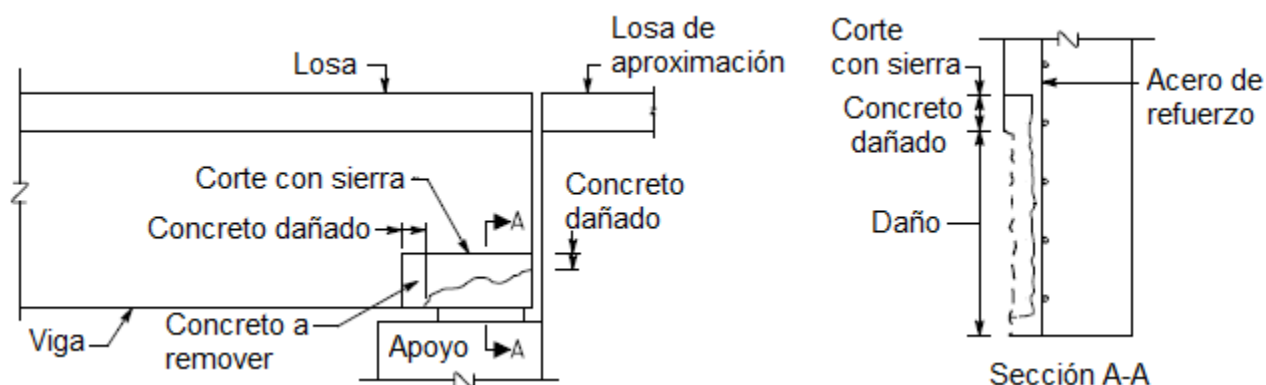


**Figura 57. Daño en la viga.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza los límites del área que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. El área demarcada debe tener una forma cuadrada o rectangular con los lados paralelos y perpendiculares a los ejes de la viga.
2. El perímetro demarcado anteriormente se debe cortar con sierra a la misma profundidad del descascaramiento.
3. Demoler utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, hasta donde se encuentre concreto sano y firme. En caso de que se llegue hasta el acero de refuerzo se debe aplicar el procedimiento D01-MP-V1 Reparación de acero expuesto en viga principal, diafragma de concreto o en la parte inferior de la losa.
4. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

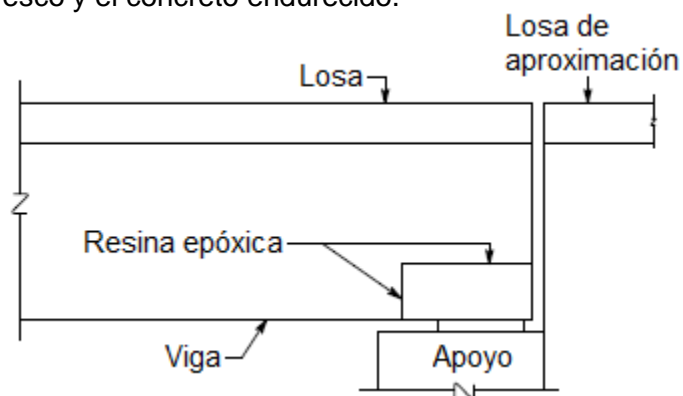


**Figura 58. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2.

1. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto viejo (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.



**Figura 59. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

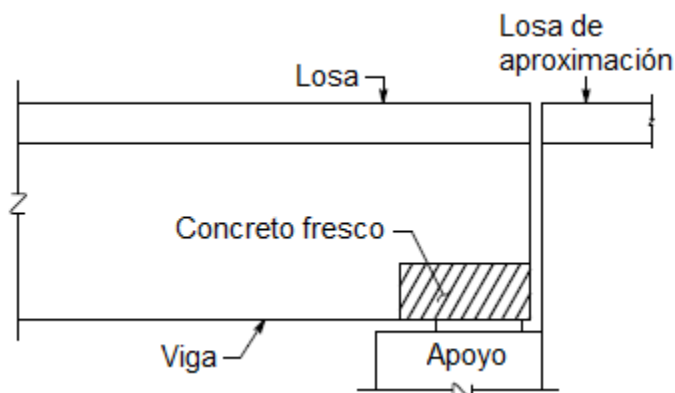
## Paso 3

1. Colocar el mortero (según las especificaciones del fabricante) en el área dañada justamente después de colocar la resina epóxica. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30°C.

2. Darle acabado a la superficie de concreto del bastión o pila con una llaneta antes que el mortero endurezca.

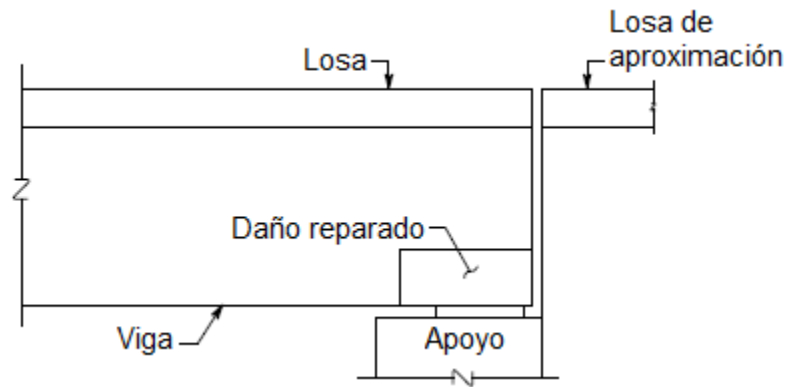
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el mortero.

4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 60. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 61. Daño reparado**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## **D05 Reparación de juntas obstruidas**

Definición: se refiere a que la junta ha sido obstruida, ya sea por suciedad, escombros, sobrecapas de asfalto, entre otros.

### Posibles causas

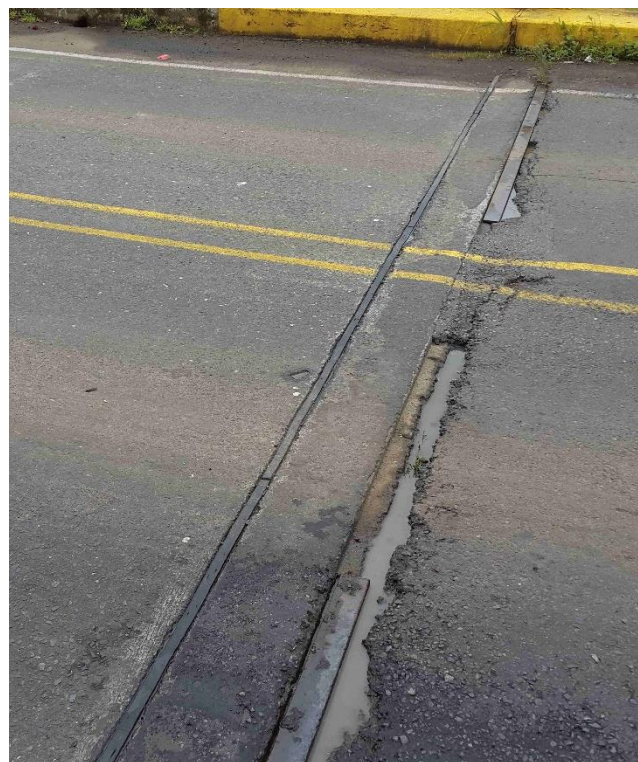
- Principalmente se da por prácticas de mantenimiento inadecuadas, por ejemplo, la colocación de sobrecapas de asfalto.
- Falta de limpieza para la remoción de suciedad, escombros, maleza, piedras, entre otros.

### Posibles consecuencias

- Impide el movimiento adecuado de la junta disminuyendo su funcionalidad. En el caso de sobrecapas de asfalto, se generan grietas en la superficie de ruedo a lo largo de la junta, además, que impide darle mantenimiento a la junta.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar juntas obstruidas.





**Figura 62. Juntas obstruidas.**  
Fuente: PEEP (2018).



## **D05-MR-J1 Limpieza general del puente**

Objetivo: limpiar manualmente todos los elementos del puente para remover toda la suciedad, basura, escombros, vegetación, aceite, colonias de animales u otros, y de esta forma permitir que los elementos funcionen de manera adecuada para brindar seguridad y comodidad a los usuarios.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar al menos una vez al año. También, es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con una obstrucción de juntas de grado 4 o menor.

En caso de que se encuentre un grado 5 (obstrucción por sobrecapa de pavimento), se recomienda, primeramente, aplicar el procedimiento D10-MR-L1 Remoción de sobrecapas de pavimento y colocación de nuevas superficies de riego de concreto asfáltico, y luego aplicar el procedimiento D08-MP-J1 Sustitución de las juntas de expansión.

### Notas generales

1. Según la Sección 609: reemplazo de juntas de expansión de puentes, del MCV-2015 o su versión vigente, la reparación se debe llevar a cabo preferiblemente en horario nocturno para no interferir con el tránsito vehicular.
2. Para limpiar las áreas de difícil acceso como la parte inferior de la losa, las vigas, entre otros, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir la zona, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
3. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

- Aceite lubricante o grasa para los apoyos.

### Herramientas

- Equipo para chorro de agua a presión (camión cisterna, bomba de agua, mangueras, etc.)
- Escaleras.
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillos, carretillo, llaneta, machete, entre otros.

Especificaciones: Sección 601: limpieza manual de puentes, del MCV-2015.

## Paso 1

1. Barrer y cepillar las barandas, aceras, calzada, pasarelas peatonales, vigas, zona de los apoyos, juntas de expansión, bastiones, aletones, entre otros, para remover toda la suciedad, basura, escombros, vegetación, aceite, colonias de animales u otros.



**Figura 63. Limpieza manual del puente.**

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

2. Lavar con agua a presión la estructura para eliminar toda la suciedad y agentes extraños restantes, teniendo la precaución de no dañar la pintura. Generalmente se inicia en el punto más alto hacia el punto más bajo de la estructura. También, se deben limpiar los drenajes del puente, asegurándose de que no quede basura, suciedad, escombros u otros, atascados en el ducto.



**Figura 64. Lavado con agua a presión.**

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).



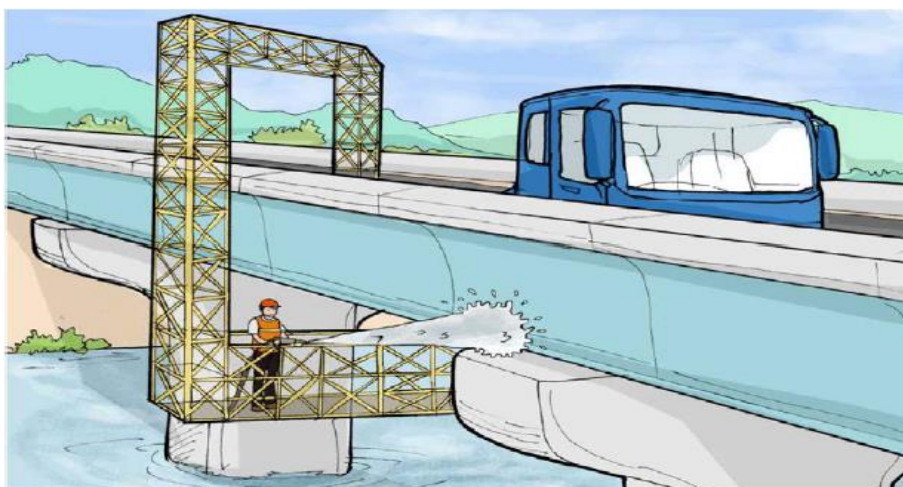
**Figura 65. Limpieza de los drenajes.**

Fuente: JICA (2014).



**Figura 66. Limpieza de los apoyos.**

Fuente: JICA (2014).



**Figura 67. Limpieza de las vigas con la ayuda de un vehículo de inspección.**

Fuente: JICA (2014).



3. Secar y lubricar los apoyos con aceite lubricante o grasa.
4. Remover las ramas, troncos, basura, etc., que se encuentren acumuladas alrededor de las pilas. Esto se puede llevar a cabo mediante equipo mecanizado o un vehículo de inspección.



**Figura 68. Remoción de ramas de las pilas.**

Fuente: JICA (2014).

5. En caso de necesitar remover la vegetación del derecho de vía, se debe hacer de acuerdo con lo mencionado en la Sección 102 Manejo de la vegetación menor en la zona del derecho de vía y la Sección 103 Manejo de la vegetación mayor en la zona del derecho de vía del MCV-2015.



**Figura 69. Remoción de la vegetación del derecho de vía.**

Fuente: JICA (2014).

6. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.

## **D06 Reparación de la corrosión**

Definición: es una disminución en la sección transversal del elemento de acero.

Elementos en los que se puede dar la corrosión:

1. Baranda de acero
2. Viga principal de acero
3. Sistema de arriostramiento

Posibles causas

- Falta de mantenimiento a los elementos de acero, se debe remover la oxidación para evitar el inicio del proceso de corrosión.
- Falta de protección superficial como pintura anticorrosiva.
- Comúnmente, se observa en las vigas debido a la filtración de agua a través de la junta y drenajes, lo cual acelera el proceso de corrosión.

Posibles consecuencias

- Cuando el refuerzo de acero se corroe, se afecta la capacidad estructural del elemento. Según (Emmons, 1994), en vigas a flexión a partir de un 1,5 % de corrosión la resistencia empieza a disminuir y con una corrosión de 4,5 %, la capacidad última de la viga se reduce aproximadamente 12 %.
- El elemento disminuye la capacidad de soportar cargas.
- En caso de sistemas de arriostramiento, también causa la pérdida de estabilidad lateral.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la corrosión en elementos de acero.





**Figura 70. Corrosión en elementos de acero.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D06-MR-T1 Detención del proceso de corrosión mediante la limpieza y aplicación de pintura anticorrosiva en superficies nuevas o con toda la pintura existente removida**

Objetivo: eliminar el óxido, suciedad, vegetación, entre otros, de los elementos de acero para obtener una superficie sana, limpia y así detener el avance de la corrosión, además de prevenirlo aplicando pintura anticorrosiva para extender el periodo de vida útil del elemento de acero.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar como mínimo cada 12 años. Sin embargo, de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de oxidación y para un grado de corrosión de 4 o menor, pero solamente si se ha perdido menos del 20 % de la sección transversal del elemento. Si se ha perdido más de un 20 %, se debe aplicar algún método de reforzamiento.

Únicamente, es aplicable en caso de que la superficie de acero sea nueva o que toda la pintura existente sea removida, en caso que el elemento de acero tenga pintura en buen estado se debe aplicar el procedimiento D16-MR-T1 Pintado de superficies que mantienen la pintura parcialmente en buen estado.

### Notas generales

1. Según la Subsección 563.03 del CR-2010, para pintar los elementos de acero, se debe cumplir con las recomendaciones de la guía 3 (SSPC) SSPC-PA “Guía de Seguridad de la Aplicación de Pintura” y con los requisitos de la OSHA.
2. Antes de empezar, se debe comprobar que la superficie de acero se encuentra en un rango de temperatura entre 10 y 40 °C. Añadido a esto, se debe comprobar que la humedad es del 85 % o menor, exceptuando que el fabricante del producto lo especifique de otra manera.
3. En caso de que el área afectada sea de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área dañada, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
4. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
5. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de acero.
6. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

- Pintura anticorrosiva: según el sistema de pintura seleccionado, se deben seguir las normas respectivas de la Subsección 708.05 Pintura para estructuras de acero, del CR-2010.

Los sistemas de pintura dependen del tipo de ambiente al que estarán expuestos los elementos de acero. En la siguiente, se pueden observar los sistemas de pintura estipulados por el CR-2010.



**Cuadro 2.** Sistemas de recubrimiento para hierro y acero estructural en superficies nuevas o superficies con toda la pintura removida.

Capa	Sistema de pintura <sup>(1)</sup>				
	1	2	3	4	5
	Ambientes agresivos (Sal)	Ambientes agresivos (Sal)	Ambientes agresivos (Sal)	Ambientes menos agresivos (Sin sal)	Ambientes menos agresivos (Sin sal)
Base	Zinc inorgánico tipo I 75-100 $\mu\text{m}$ seco	Zinc inorgánico 75-100 $\mu\text{m}$ seco	Uretano curado húmedo 50-75 $\mu\text{m}$ seco	Látex acrílico 50-75 $\mu\text{m}$ seco	Alcalino VOC bajo 50-75 $\mu\text{m}$ aeco
Intermedia	Epóxico 75-100 $\mu\text{m}$ seco	Epóxico 75-100 $\mu\text{m}$ seco	Uretano curado húmedo 50-75 $\mu\text{m}$ seco	Látex acrílico 50-75 $\mu\text{m}$ seco	Alcalino VOC bajo 50-75 $\mu\text{m}$ aeco
Superior	Uretano alifático 50-75 $\mu\text{m}$ seco	Uretano alifático 50-75 $\mu\text{m}$ seco	Uretano curado húmedo 50-75 $\mu\text{m}$ seco	Látex acrílico 50-75 $\mu\text{m}$ seco	Alcalino VOC bajo 50-75 $\mu\text{m}$ aeco
Espesor total	200-275 $\mu\text{m}$ seco	200-275 $\mu\text{m}$ seco	150-225 $\mu\text{m}$ seco	150-225 $\mu\text{m}$ seco	150-225 $\mu\text{m}$ seco

(1) Los sistemas 1, 2 o 3 son para protección a la corrosión de hierro o acero en ambientes propensos a la corrosión como ambientes marinos, industriales o de alta humedad. Sistemas 4 o 5 son para los ambientes libres de altas concentraciones de sales o contaminantes causantes de ambientes de alta corrosión.

**Fuente:** MOPT (2010)

#### Herramientas

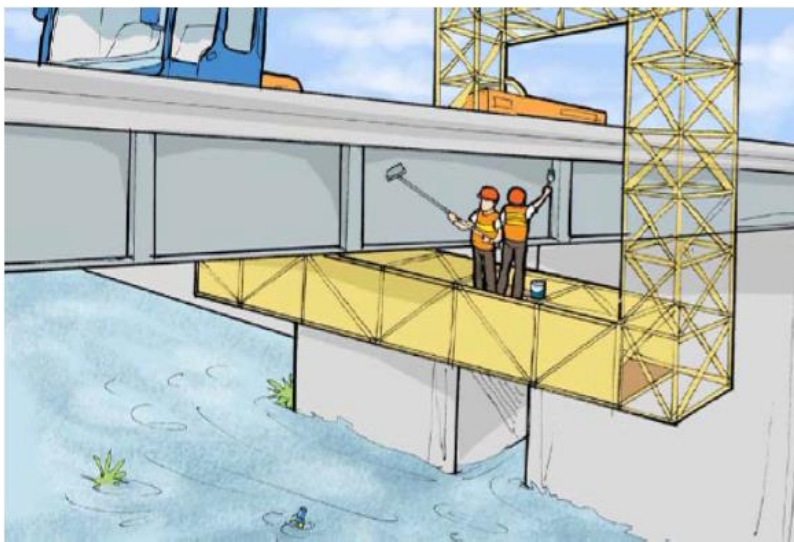
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Compresor de aire para la limpieza de la superficie
- Generador portátil
- Brochas (redondeadas o planas con un ancho menor a 12 cm), rodillos (solo se pueden utilizar en superficies planas) o rociadores de pintura sin aire o convencionales con filtros para excluir el aceite o agua del aire comprimido (el aire comprimido debe cumplir la norma ASTM D 4285).
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillos, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 613: preparación y protección de superficies de puentes, del MCV-2015 y la Sección 563.) Pintura, del CR-2010.



## Paso 1

1. Se debe limpiar la superficie de acero a intervenir, eliminando toda la oxidación, escamas, suciedad, insectos, vegetación, escombros, pintura vieja, aceites o alguna otra sustancia líquida. Esto se debe llevar a cabo mediante la utilización de chorro de arena hasta llegar al metal blanco siguiendo las especificaciones de la norma SSPC-SP 10. No se debe utilizar arena sin lavar o abrasivos que contengan suciedad, sales, aceites u otras. De acuerdo con lo mencionado en la Subsección 563.07 del CR-2010, la limpieza debe llevarse a cabo con escorias limpias y secas, con arena mineral, polvo o limaduras de acero, asegurándose de que produzcan un patrón de anclaje con una altura de 25 a 50 micrómetros (no debe ser menor que lo recomendado por el fabricante del sistema de pintura). Este patrón debe ser medido mediante el método de la cinta adhesiva de la norma ASTM D 4417.
2. Posteriormente, se debe remover toda la suciedad, polvo y otros desechos, producto de la limpieza con chorro de arena, mediante cepillado, o soplado con aire seco limpio (debe estar libre de aceite o humedad).
3. Proteger las superficies adyacentes que no serán pintadas con lonas, telas o algún medio adecuado. En caso de que las superficies se contaminen antes de pintar, se debe repetir la limpieza con chorro de arena.
4. Aplicar las capas de pintura anticorrosiva (las capas sucesivas deben ser de diferente color para evitar dejar áreas sin pintar) de manera uniforme, utilizando brocha, rodillo o rociador y siguiendo las especificaciones del fabricante. Además, se debe curar cada capa de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Es importante mencionar que se debe medir y ajustar el espesor de cada capa húmeda durante la aplicación, para que después de curar, se logre obtener el espesor de pintura deseado. En caso de que, alguna capa después de curada no alcance el espesor deseado, se debe volver a pintar hasta alcanzar dicho espesor.
5. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 71. Pintado de vigas de acero con la ayuda de un vehículo de inspección.**  
Fuente: JICA (2014).

## **D07 Reparación de la oxidación**

Definición: este daño se presenta cuando se forma una capa café-rojiza en la superficie del acero.

Elementos en los que se puede dar la oxidación:

1. Baranda de acero
2. Viga principal de acero
3. Sistema de arriostramiento

Nota: para evaluar el sistema de arriostramiento, el Manual de Inspección de Puentes, establece una calificación diferente, donde se califica más fuerte por un grado de oxidación menor, es decir, permite un grado de oxidación menor para los sistemas de arriostramiento. Sin embargo, para este caso, el décimo tercer daño más común “oxidación en sistemas de arriostramiento” se puede reparar mediante los procedimientos aquí establecidos.

Posibles causas

- Es causada por una reacción química debido al contacto del acero con el medio ambiente, específicamente con la humedad del aire y el agua.
- En ambientes húmedos o marinos (alto contenido de cloruro de sodio), es importante tratar la oxidación con la mayor brevedad posible, ya que estos factores aceleran la oxidación y posteriormente la corrosión.
- En vigas y sistemas de arriostramiento, comúnmente se observa cerca de las juntas (filtración de agua).

Posibles consecuencias

- No causa problemas estructurales, sin embargo, en caso de no tratarse empieza a aparecer la corrosión.
- Afecta la estética del puente.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la oxidación en elementos de acero.





**Figura 72. Oxidación en elementos de acero.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D07-MR-T1 Eliminación de la oxidación mediante la limpieza con chorro de agua**

Objetivo: eliminar el óxido, suciedad, vegetación, entre otros, de los elementos de acero para obtener una superficie sana, limpia y prevenir la disminución de su sección transversal (corrosión) mediante inhibidores de óxido para extender el periodo de vida útil de los elementos de acero.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar como mínimo cada 12 años. Sin embargo, de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento también es aplicable para cualquier grado de oxidación y para cualquier grado de oxidación en los sistemas de arriostramiento.

### Notas generales

1. En caso de que el área afectada sea de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área dañada, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
3. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de acero.

### Especificaciones de los materiales

- Inhibidor de óxido: según el MCV-2015, debe cumplir con lo especificado en la norma SSPC-SP6.

### Herramientas

- Equipo para chorro de agua a presión
- Equipo de aire a presión para el secado de la superficie
- Generador portátil
- Brochas, rodillos o pistolas de pintura
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 605: limpieza de superficies de puentes de concreto o acero con agua a presión, del MCV-2015.



## Paso 1

1. Se debe limpiar toda la superficie de acero a intervenir, eliminando toda la oxidación, suciedad, insectos, vegetación, escombros, aceites o alguna otra sustancia líquida, hasta que la superficie de acero alcance un color mate uniforme. Esto se debe llevar a cabo mediante la utilización de chorro de agua a presión siguiendo las especificaciones de la norma SSPC-SP 12/NACE No 5, de la Steel Structures Painting Council. Es importante saber que a presiones menores de 70 MPa se eliminan los restos de óxidos, suciedad, escombros y picaduras, sin embargo, no se elimina el óxido profundo o corrosión. En este caso para que el acero alcance un color mate uniforme, se necesita utilizar una presión constante de 70 MPa. Es importante mencionar que el MCV-2015 no permite chorros de agua con una presión mayor a 70 MPa.

2. Secar la superficie mediante el equipo de aire a presión.

3. Cuando la superficie del área intervenida del elemento de acero se encuentre seca, aplicar el inhibidor de óxido (siguiendo las instrucciones del fabricante).

4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 73. Limpieza de la superficie de acero con agua a presión.**

Fuente: Federal Highway Administration (2018).

## **D08 Reparación de las filtraciones de agua en juntas de expansión**

Definición: se refiere a la filtración de agua a través de la junta, es decir, la junta no cumple con su función impermeable.

Posibles causas

- Instalación inadecuada de la junta.
- Deterioro de la junta por estar expuesta a la intemperie y por el paso constante de vehículos.
- Inadecuado diseño de la junta acompañado con la ausencia de sello.
- Drenajes obstruidos, inexistentes o mal contruidos.
- Falta de mantenimiento.

Posibles consecuencias

- Deterioro (eflorescencia, oxidación, corrosión) de los elementos adyacentes a la junta, tales como, apoyos, losa, vigas, bastiones, etc., por esta razón, es importante corregir este daño, antes de aplicar procedimientos de mantenimiento a los elementos adyacentes a la junta.
- Corrosión en los elementos de acero de la junta.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la filtración de agua a través de las juntas.



**Figura 74. Filtración de agua en juntas.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D08-MP-J1 Sustitución de las juntas de expansión por juntas de silicón**

Objetivo: sustituir las juntas de expansión que se encuentran deterioradas para conservar el adecuado comportamiento estructural y funcional del puente.

Criterio: de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de filtración de aguas que se dé a través de las juntas. Se puede hacer una sustitución por juntas de silicona cuando el ancho de la abertura es menor a 6,35 cm (2 ½ pulgada). Según los anchos de abertura establecidos por el Manual de Inspección de Puentes, se pueden colocar juntas de silicona para reemplazar juntas abiertas y juntas selladas (rellenas o con sellos comprimidos de neopreno). Sin embargo, no se pueden utilizar para reemplazar juntas de placas de acero deslizante o juntas de placas dentadas.

### Notas generales

1. Antes de aplicar este procedimiento, se deben limpiar los drenajes del puente. En caso de que sean inexistentes, se debe proveer al puente de los drenajes necesarios para garantizar un escurrimiento adecuado del agua.
2. Según la Sección 609: reemplazo de juntas de expansión de puentes, del MCV-2015 o su versión vigente, la reparación se debe llevar a cabo preferiblemente en horario nocturno para no interferir con el tránsito vehicular.
3. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

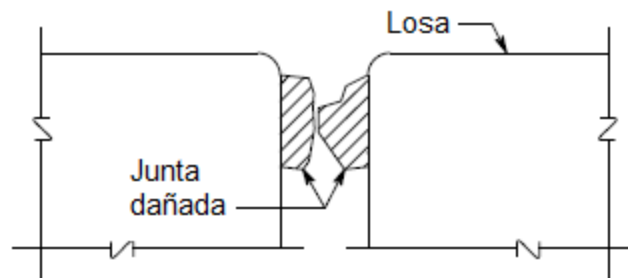
- Tirilla de respaldo (*Backer Rod*)
- Silicón (polímero sintético) para sellado de juntas: según lo establecido en la Sección 712.) Material para juntas del CR-2010.

### Herramientas

- Sierra de corte de concreto
- Esmeril angular con disco diamantado
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Compresor de aire para la limpieza de la superficie junta
- Pistola de silicón
- Guantes desechables
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillos, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 609: reemplazo de juntas de expansión de puentes, del MCV-2015, Subsección 502.06 Reparación de Juntas y Grietas, del CR-2010 y la Actividad 800.01 – Bridge Deck Joint Sealing (Silicone), del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.





**Figura 75. Junta deteriorada.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

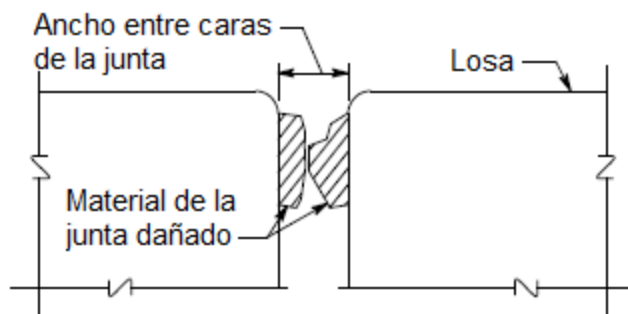
1. Remover completamente la junta dañada mediante métodos que no dañen el concreto adyacente. En caso de que sea necesario, se puede cortar con una sierra, el concreto adyacente a la junta (en forma de cajón y mínimo 2 mm en cada cara de la junta) para removerla totalmente. Para esto, primeramente se debe demarcar con tiza el perímetro del área a removerse. El corte debe ser vertical con una profundidad mínima de 5 cm, sin embargo, si se encuentra la armadura a una menor profundidad, el corte debe ser menos profundo para no dañarlas. Posteriormente, se debe demoler el concreto hasta la profundidad necesaria para remover la junta, utilizando herramientas manuales o un martillo demoledor, procurando dejar paredes verticales con un mínimo de irregularidades.

Debe comprobarse que el concreto de las paredes y el fondo se encuentra en buenas condiciones, golpeando con un martillo su superficie, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco. Si no se encuentra sano, se debe continuar la demolición hasta encontrar concreto sano.

2. Utilizando un esmeril angular cortar los bordes superiores de la junta (ver detalle en la siguiente figura), se deben remover triángulos de 1,3 cm de lado.

3. Utilizando chorro de arena deben removerse todas las partículas sueltas de la superficie del área demolida. En caso de que la demolición no haya sido necesaria, igualmente se debe limpiar el área con chorro de arena. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.

4. Posteriormente, se debe limpiar el polvo y la suciedad de la junta con un compresor de aire.

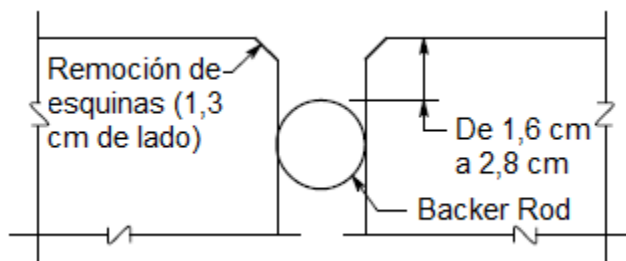


**Figura 76. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2

1. Cuando las juntas se encuentren limpias y secas, se debe instalar el *Backer Rod* (siguiendo las instrucciones del fabricante). El ancho del *Backer Rod* debe ser un 25 % mayor al ancho de la junta. Se debe instalar entre una profundidad de 1,6 cm a 2,8 cm (ver detalle en la siguiente figura), de no ser que el fabricante lo especifique de otra manera. Durante su instalación, se debe procurar no retorcer o estirar el *Backer Rod* y se debe limitar el largo de su instalación a aquella que pueda ser sellada durante el mismo día de trabajo.



**Figura 77. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

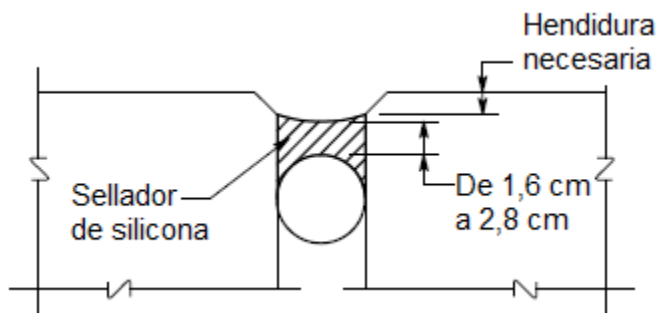
## Paso 3

1. Instalar el sellador de silicona inmediatamente después de instalar el *Backer Rod* para evitar el ingreso de agua, suciedad, polvo u otros a la junta. El sellador se debe colocar a las temperaturas del aire y superficie recomendadas por el fabricante. El equipo utilizado para colocar el sellador debe tener capacidad suficiente para colocar el volumen necesario de sellador (sin vacíos) en una sola pasada. Justamente después de la colocación, el sellador se debe repujar con alguna herramienta adecuada para asegurar un contacto firme con las caras de la junta y para formar la hendidura necesaria por debajo de la superficie de la losa (ver detalle en la siguiente figura). En caso de que la junta se contamine o se moje, antes de colocar el sellador, se debe retirar el *Backer Rod*, secar y repetir la limpieza.

2. Esperar a que el sellador seque adecuadamente (siguiendo las instrucciones del fabricante).

3. Limpiar de la superficie de rodamiento el excedente de sellador colocado.

4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 78. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 79. Daño antes y después de la reparación.**  
Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## D09 Reparación de grietas en una dirección

Definición: se refiere a las grietas que se generan en los diferentes elementos de concreto, con excepción de las barandas.

### Posibles causas

- Esfuerzos de flexión o cortante debido a las cargas vivas y muertas. En vigas las grietas de flexión son perpendiculares al refuerzo longitudinal e inician en las zonas que trabajan a tracción. En cambio, las grietas por cortante son diagonales y comúnmente ocurren en el alma de la viga.
- Contracción y expansión debido a cambios de temperatura y humedad.
- Falta de curado en el concreto.
- Retiro prematuro de la formaleta.
- Sismos.
- Asentamiento de la cimentación.
- En bastiones, también se pueden dar por empuje de suelo.

### Posibles consecuencias

- Filtración de agua u otras sustancias a través de las grietas, afectando el acero de refuerzo. Este se oxida y si no se trata se corroe afectando la capacidad estructural del elemento.
- Afectan la vida útil del elemento.
- Dependiendo del ancho de la grieta se puede afectar la capacidad de resistencia de cargas del elemento.
- Es un indicativo de futuros problemas en el elemento, por esta razón, es importante sellarlas.

Es importante tener a mano los anchos de grieta tolerables por el ACI 224R-01, para concreto reforzado bajo cargas de servicio. En caso de que los anchos de grieta sean mayores a los que se encuentran en el siguiente cuadro, se debe considerar algún procedimiento para corregir este daño.

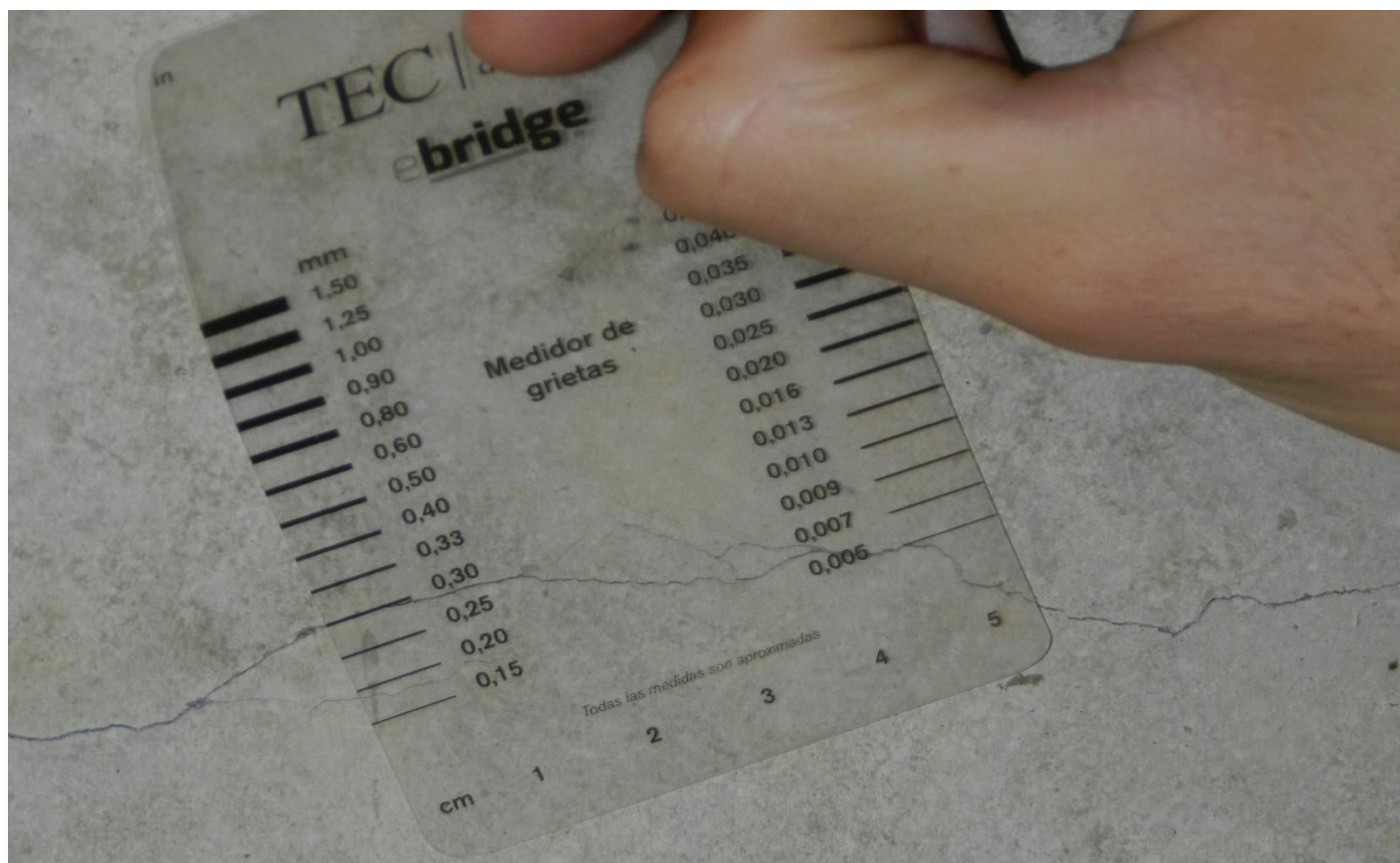
**Cuadro 3. Anchos de grietas tolerables en elementos de concreto reforzado bajo cargas de servicio.**

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

Fuente: ACI 224R-01 (2001).

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar grietas en una dirección en elementos de concreto.





**Figura 80. Grietas en una dirección.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D09-MP-T1 Reparación de grietas en una dirección mediante la inyección de resinas epóxicas a presión**

Objetivo: mantener la condición estructural de los elementos de concreto reforzado y prevenir daños más graves, como la oxidación del acero y la posterior delaminación del concreto.

Criterio: este procedimiento se puede programar periódicamente, después de que hayan sido detectadas grietas con un grosor mayor a 0,33 mm (0,013") en una inspección visual de campo.

### Notas generales

1. En caso de que el área afectada sea de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área dañada, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
2. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de concreto.
3. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 30 °C o menor a 5 °C (con temperaturas bajas aumenta la viscosidad del epóxico).
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

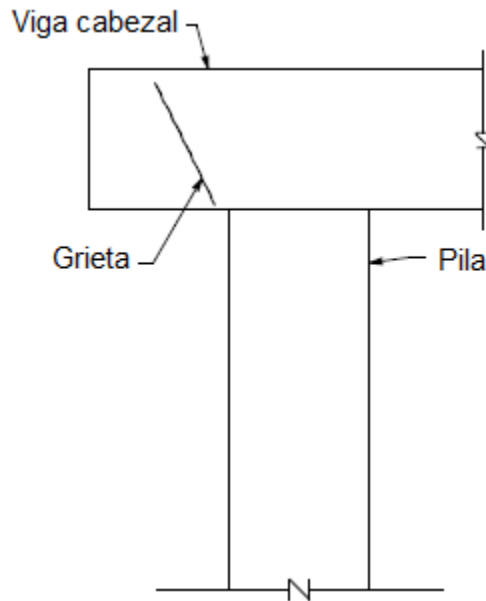
### Especificaciones de los materiales

- Mortero de alta resistencia inicial: debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.
- Sellante y relleno para juntas y grietas: se refiere a una resina epóxica para la inyección y también se puede utilizar un sellador epóxico (masilla epóxica) para sustituir el uso del mortero. Deben cumplir con lo mencionado en la Subsección 712.01 (a) del CR-2010.

### Herramientas

- Compresor de aire
- Esmeril angular
- Generador portátil
- Equipo para chorro de arena, chorro de agua o pulidora (lijadora)
- Taladro percutor
- Pistola de inyección epóxica y boquillas de inyección
- Batidora de concreto
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Tiza
- Guantes desechables
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 606: limpieza y sellado de grietas en elementos de concreto en puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.13 – Epoxy Injection (Cap and Columns) del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.

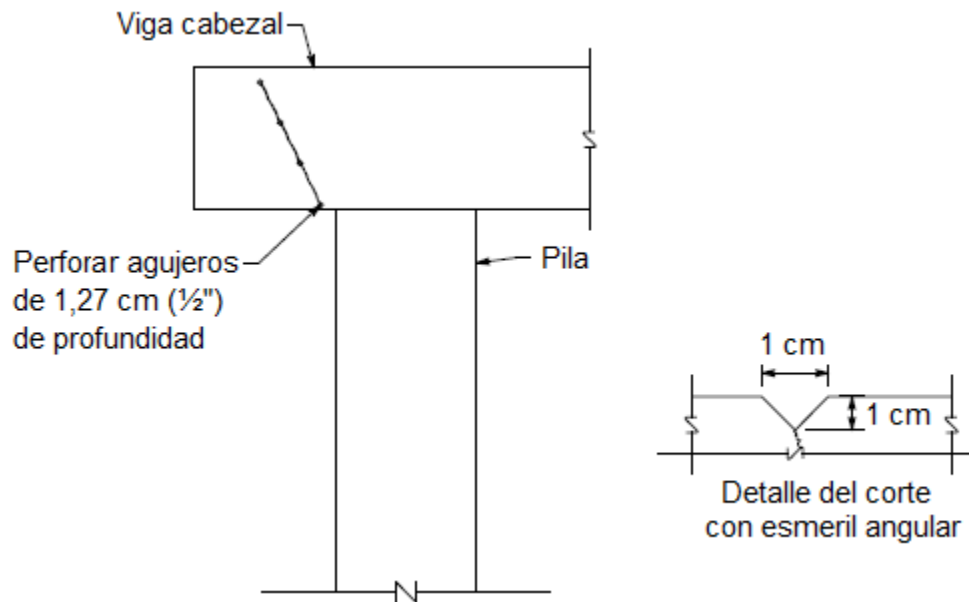


**Figura 81. Grieta en la viga cabezal.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir la ubicación y longitud de las grietas en los elementos de concreto que tengan un ancho mayor que 0,33 mm (0,013"). Las grietas a intervenir se deben demarcar con tiza.
2. Utilizar el esmeril angular para hacer un corte en forma de "V" en toda la longitud de las grietas que se van a intervenir, con una profundidad mínima de 1 cm o hasta encontrar concreto sano y firme (ver el detalle del corte en la siguiente figura).
3. El área intervenida, así como 10 cm a cada lado, se debe limpiar utilizando chorro de arena, pulido (mediante lijadora o adaptándole un disco de lija a un esmeril angular), chorro de agua o algún procedimiento similar, eliminando toda la suciedad, polvo y material suelto. Por último, se debe limpiar con aire comprimido.
4. Localizar las grietas que se extienden a mayor profundidad que el área cortada y marcar con tiza los lugares donde se deben perforar agujeros para colocar las boquillas para la inyección epóxica. La distancia entre las boquillas no debe ser mayor al espesor del elemento, a la profundidad de la grieta o a 30 cm.
5. Utilizando un taladro percutor, perforar los agujeros en los puntos señalados con una profundidad de 1,27 cm ( $\frac{1}{2}$ ").

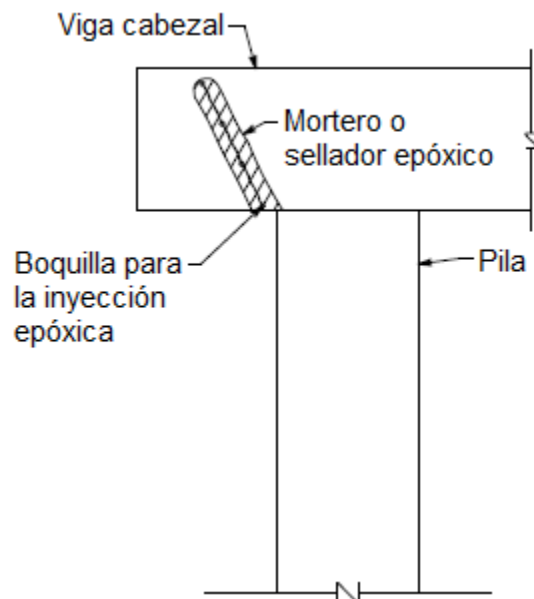


**Figura 82. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2

1. Instalar las boquillas para la inyección epóxica de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
2. Colocar el mortero o el sellador epóxico (siguiendo las instrucciones del fabricante) en la totalidad del área cortada para sellar la grieta superficialmente y alrededor de las boquillas de inyección. Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla de mortero se debe mantener entre 10 °C y 30 °C.
3. Permitir que el mortero o el sellador cure de forma adecuada, siguiendo las instrucciones del fabricante.



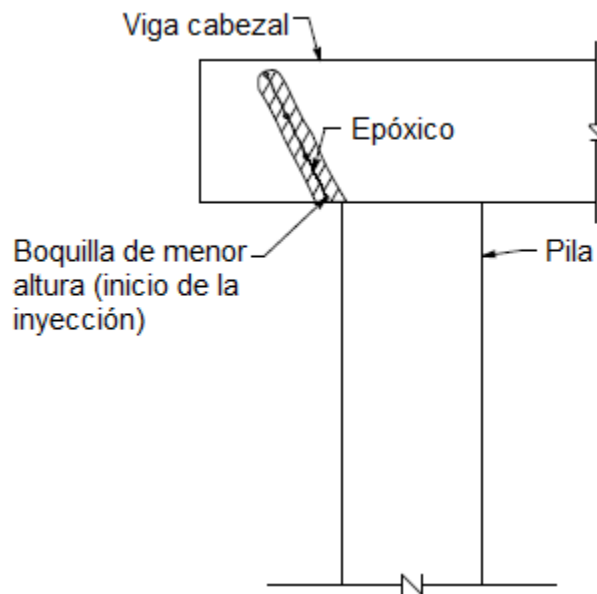
**Figura 83. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



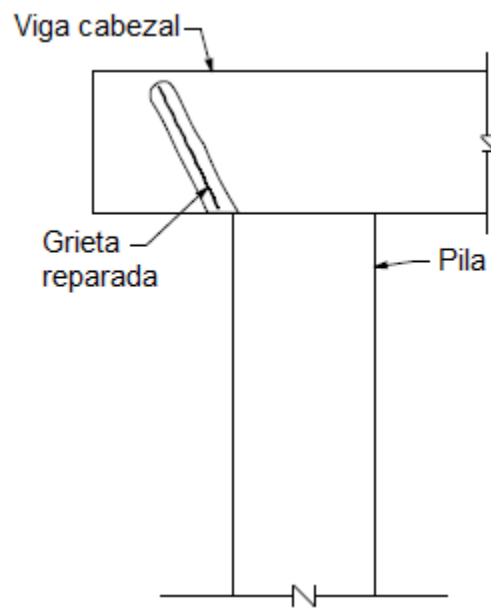
### Paso 3

1. Una vez que el mortero o el sellador haya endurecido, verificar que exista un sistema abierto aplicando aire comprimido en todas las boquillas. Este procedimiento también sirve para expulsar restos de polvo, agua u otro contaminante de las grietas.
2. Preparar e inyectar el adhesivo epóxico de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Se debe inyectar a presión constante (entre 276 KPa y 689 KPa) para lograr un completo llenado de la grieta y no incorporar aire en la resina epóxica. La inyección se debe iniciar en la boquilla de menor altura de la grieta y continuar hasta que el adhesivo comience a salir en la boquilla adyacente. Luego, se debe obturar el primer punto de inyección y continuar inyectando en el siguiente, y continuar así sucesivamente hasta haber inyectado en la totalidad de la grieta. En caso de que la grieta sea horizontal, la inyección se debe hacer de extremo a extremo.
3. Remover las boquillas y darle acabado a la superficie con mortero.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 84. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012)..



**Figura 85. Daño reparado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## **D09-MP-L1 Sellado de grietas en losas de concreto o carpetas asfálticas**

Objetivo: aplicar la norma ASTM D 6690 para sellar las grietas longitudinales y transversales en la superficie de rodamiento, y de esta forma asegurar que la superficie provea una protección impermeable a la losa, extendiendo su vida de servicio.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de grietas en una dirección de 3 o menor.

### Notas generales

1. No se debe llevar a cabo este procedimiento en condiciones lluviosas.
2. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

- Sellador asfáltico de grietas en caliente que cumpla con la norma ASTM D 6690.

### Herramientas

- Generador portátil
- Sierra de corte de concreto
- Equipo para chorro de arena
- Compresor de aire
- Equipo para colocar el sellador asfáltico en caliente (hot tar pot)
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: norma ASTM D 6690, la Subsección 416.05 Limpieza, preparación y sello de grietas, del CR-2010 y el procedimiento “Crack sealing on portland cement concrete decks” del Fundamentals of Bridge Maintenance and Inspection del Departamento de Transportes de Nueva York.

### Paso 1

1. Utilizando una sierra de concreto, realizar un canal a lo largo de la grieta existente, con una misma profundidad que la grieta por sellar. La profundidad mínima de corte son 2 cm.



**Figura 86. Paso 1.**

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

### Paso 2

1. Remover la suciedad y escombros resultantes del corte con sierra.
2. Utilizando chorro de arena, se deben remover las partículas sueltas de las grietas cortadas. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.
3. Utilizar aire comprimido para eliminar todo el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto de las grietas.



**Figura 87. Paso 2.**

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

### Paso 3

1. Cuando las grietas se encuentren totalmente limpias, se puede aplicar el sellador asfáltico de grietas en caliente, de acuerdo con lo mencionado en la norma ASTM D 6690.
2. Se debe limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.
3. Permitir que el sellador alcance la resistencia inicial antes de abrir el paso al tránsito.



**Figura 88. Paso 3.**

Fuente New York State Department of Transportation (2008).



**Figura 89. Daño reparado.**

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

## **D10 Remoción de sobrecapas de pavimento**

Definición: hace referencia a la colocación de nuevas capas de pavimento sobre la superficie de ruedo existente.

Posibles causas

- Inadecuadas prácticas de mantenimiento debido a falta de conocimiento de las entidades encargadas de dicho mantenimiento.

Posibles consecuencias

- Aumentan considerablemente las cargas muertas del puente. Una sobrecapa de 7 cm en un ancho de vía de 10 m, una longitud de tramo de 30 m y considerando una densidad de 1,91 ton/m<sup>3</sup> del pavimento, equivale a una carga total 40, 11 ton, la cual es similar a la carga máxima de un vehículo que pasa por el puente (MOPT, 2007).
- Afecta el funcionamiento adecuado de las juntas de expansión.
- Obstruye los drenajes, lo cual también representa un peligro a los conductores porque el agua se empoza en el puente.
- Se reduce la capacidad de carga viva que puede soportar el puente

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar sobrecapas de pavimento en las superficies de ruedo.





**Figura 90. Sobrecapas de pavimento.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D10-MR-L1 Remoción de sobrecapas de pavimento y colocación de nuevas superficies de riego de concreto asfáltico**

Objetivo: remover las sobrecapas de pavimento para reestablecer la funcionalidad de los drenajes, juntas y la capacidad del puente de soportar cargas vivas. Además, colocar una nueva superficie de desgaste para proveer a la losa de una impermeabilización y protección, añadido a esto, se asegura un tránsito cómodo y seguro para los usuarios.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar al menos, una vez cada 12 años. También es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado de sobrecapas de pavimento de 3 o mayor.

### Notas generales

1. Para no restringir totalmente el paso del tránsito, se debe aplicar el procedimiento en un carril a la vez y controlar el paso por medio de banderilleros.
2. No se debe llevar a cabo este procedimiento en condiciones lluviosas.
3. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

- Mezcla asfáltica: el diseño, mezclado, suministro, colocación y compactación del concreto asfáltico se debe hacer de acuerdo con lo estipulado en la División 400. Pavimentos asfálticos y tratamientos superficiales, del CR-2010.
- Liga asfáltica: el riego de liga asfáltica se debe llevar a cabo de acuerdo con lo mencionado en la Sección 414.) Riego de liga asfáltica (tack coat).
- Impermeabilización: se deben considerar los materiales necesarios para llevar a cabo la impermeabilización de la losa de concreto, de acuerdo con lo mencionado en la Sección 559.) Impermeabilización (agua), del CR-2010.

### Herramientas

- Perfiladora
- Vagoneta
- Aspersor de emulsión asfáltica.
- Pavimentadora asfáltica
- Rodillo neumático o liso
- Compresor de aire
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 612: reparación de superficie de desgaste de concreto asfáltico en puentes, del MCV-2015, la División 400. Pavimentos asfálticos y tratamientos superficiales y la Sección 559.) Impermeabilización (agua), del CR-2010.



## **Paso 1**

1. Utilizando maquinaria para perfilado, demoler todas las sobrecapas de pavimento del puente. Se debe demoler hasta encontrar el concreto de la losa del puente. Se puede llevar a cabo una prueba de extracción de núcleos para verificar la profundidad a la que se encuentra la losa de concreto antes de llevar a cabo la demolición.
2. Con escobas, limpiar la superficie (fondo y paredes) del área demolida para remover todo el material suelto.
3. Utilizar aire comprimido para eliminar toda la arena, polvo y suciedad restante. La superficie del área demolida debe quedar firme, lisa y totalmente limpia.

## **Paso 2**

1. Antes de colocar la nueva superficie de ruedo, se debe impermeabilizar la losa mediante la colocación de una membrana. Esto se debe hacer según lo estipulado en Sección 559.) Impermeabilización (agua), CR-2010.



**Figura 91. Paso 2.**

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

### Paso 3

1. Se debe recubrir la superficie del área demolida con un riego de liga de acuerdo con lo mencionado en la Sección 414.) Riego de liga asfáltica (*tack coat*), del CR-2010. Para esto se deben utilizar aspersores de emulsión asfáltica que permitan esparcir la liga uniformemente. Antes de aplicar el recubrimiento se debe verificar que la superficie se encuentre seca y a una temperatura mayor de 10 °C.
2. Colocar la mezcla asfáltica. Se debe extender y nivelar mediante el uso de rastrillos de manera que sobresalga aproximadamente 6 mm sobre el pavimento circundante. La colocación de la mezcla asfáltica también se puede llevar a cabo mediante el uso de una pavimentadora.
3. Posteriormente, se debe realizar la compactación mediante un rodillo neumático o liso que tenga un peso compatible con la capacidad soportante de la estructura de paso. El desnivel máximo tolerable entre la superficie reparada y el pavimento circundante es de 3 mm. Antes de iniciar la compactación, se debe verificar que la temperatura de la mezcla colocada no sea inferior a 110 °C, ni menor a 80 °C al finalizarla.
4. Por último se debe, limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 92. Paso 3.**

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).

## **D11 Socavación en el bastión**

Definición: se refiere a la pérdida de material en los cimientos de los bastiones.

Posibles causas de la socavación

- Erosión del suelo o pérdida de material a causa de la acción del agua.
- Remolinos que se forman cerca de la cimentación del bastión.
- Insuficiente capacidad hidráulica.
- Cimentaciones con insuficiente desplante o carecen de protección.

Posibles consecuencias de la socavación

- Pérdida de estabilidad del bastión, comprometiendo toda la estructura.
- Asentamientos diferenciales.
- Derrumbes en los taludes pudiendo llevar al colapso parcial o total del talud.
- Afecta la capacidad de carga de la fundación.
- Daños en las fundaciones por el impacto de troncos y rocas, que inclusive pueden llegar a fracturar los pilotes.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la socavación en bastiones.





**Figura 93. Socavación en bastiones.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D11-MR-P1 Limpieza de los cauces para prevenir la socavación**

Objetivo: remover con equipo mecánico, troncos, ramas, basura, rocas, sedimentos, entre otros, que no permitan el flujo adecuado del agua a través de la estructura, los cuales disminuyen la capacidad hidráulica del puente y pueden llegar a ocasionar daños graves en caso de crecidas. Además, pueden provocar socavación.

Criterio: este procedimiento se debe llevar a cabo anualmente, antes del periodo de lluvias.

### Notas generales

1. No se debe llevar a cabo este procedimiento en condiciones lluviosas.
2. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

- No se requieren materiales.

### Herramientas

- Motosierra
- Equipo mecanizado, mínimo: *back hoe* y vagoneta. También se pueden requerir, retroexcavadoras.
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: palas, pico, machete, carretillo, sogas, entre otros.

Especificaciones: Sección 602: limpieza de cauces en puentes, del MCV-2015.

### **Paso 1**

1. Con equipo mecanizado, remover troncos, ramas, basura, rocas, sedimentos y demás obstáculos, que no permiten el flujo adecuado del agua a través de la estructura y que pueden ocasionar socavación en pilas y bastiones. Aguas arriba del puente se debe limpiar una longitud mínima de tres veces la distancia medida entre los bastiones y aguas abajo una longitud mínima de una vez y media la distancia medida entre los bastiones, para permitir el escurrimiento libre del agua.
2. Todo el material removido se debe colocar en un sitio que no constituya un peligro para el cauce limpiado ni donde ocasione problemas socio-ambientales.
3. Se debe limpiar el área de trabajo y trasladar la basura removida a depósitos de excedentes autorizados.

## **D11-MP-P1 Procedimiento para prevenir la socavación, mediante enrocados (escolleras) en el cuerpo principal de los bastiones**

Objetivo: colocar escolleras para proteger el cuerpo principal del bastión y los taludes contra la socavación.

Criterio: este procedimiento es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado socavación de 3 o menor, es decir, se observa socavación, pero no se extiende hasta la fundación.

### Notas generales

1. Este procedimiento también se puede aplicar en caso de la pérdida del talud de protección frente al bastión, es decir, en cualquier grado del daño que el Manual de Inspección de Puentes nombra como “Colapso de la protección”.
2. No se debe llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
3. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

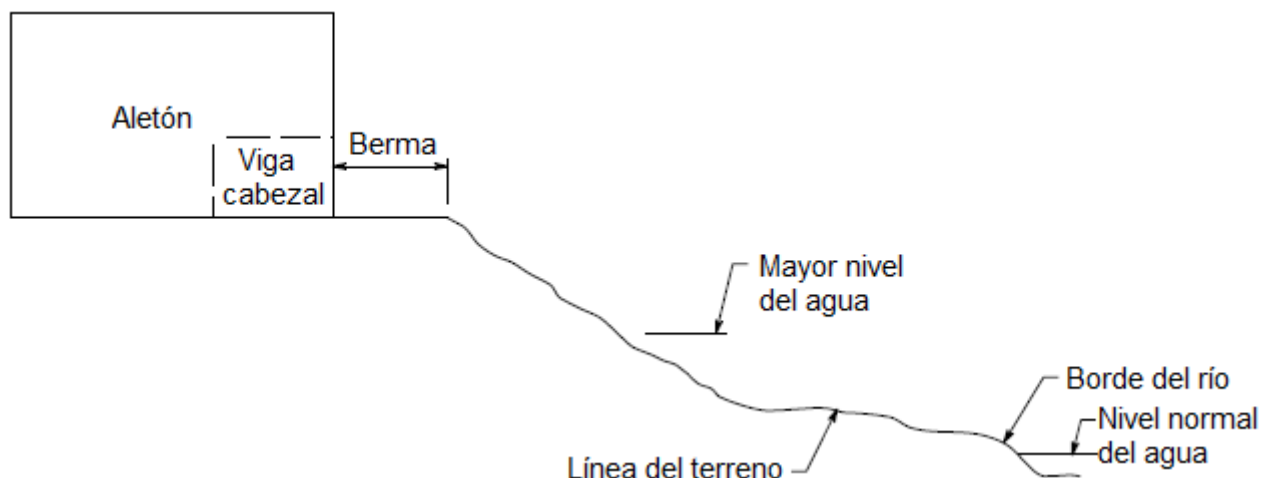
### Especificaciones de los materiales

- Roca para escolleras: deben cumplir con las especificaciones de la Subsección 705.02, del CR-2010.
- Geotextil Tipo IV: debe cumplir con las especificaciones de la Subsección 714.01, del CR-2010.
- Mortero: en caso de tratarse de un enrocado con mortero, debe cumplir con las especificaciones de la Subsección 712.02 (e), del CR-2010.

### Herramientas

- Motosierra
- Equipo mecanizado de excavación, mínimo: *back hoe* y vagoneta.
- Batidora de concreto
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 617: protección de riberas, del MCV-2015, Sección 251.) Escolleras (Riprap), del CR-2010 y la Actividad 845.02 – Erosion Repair at Abutments del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.



**Figura 94. Condición previa al enrocado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

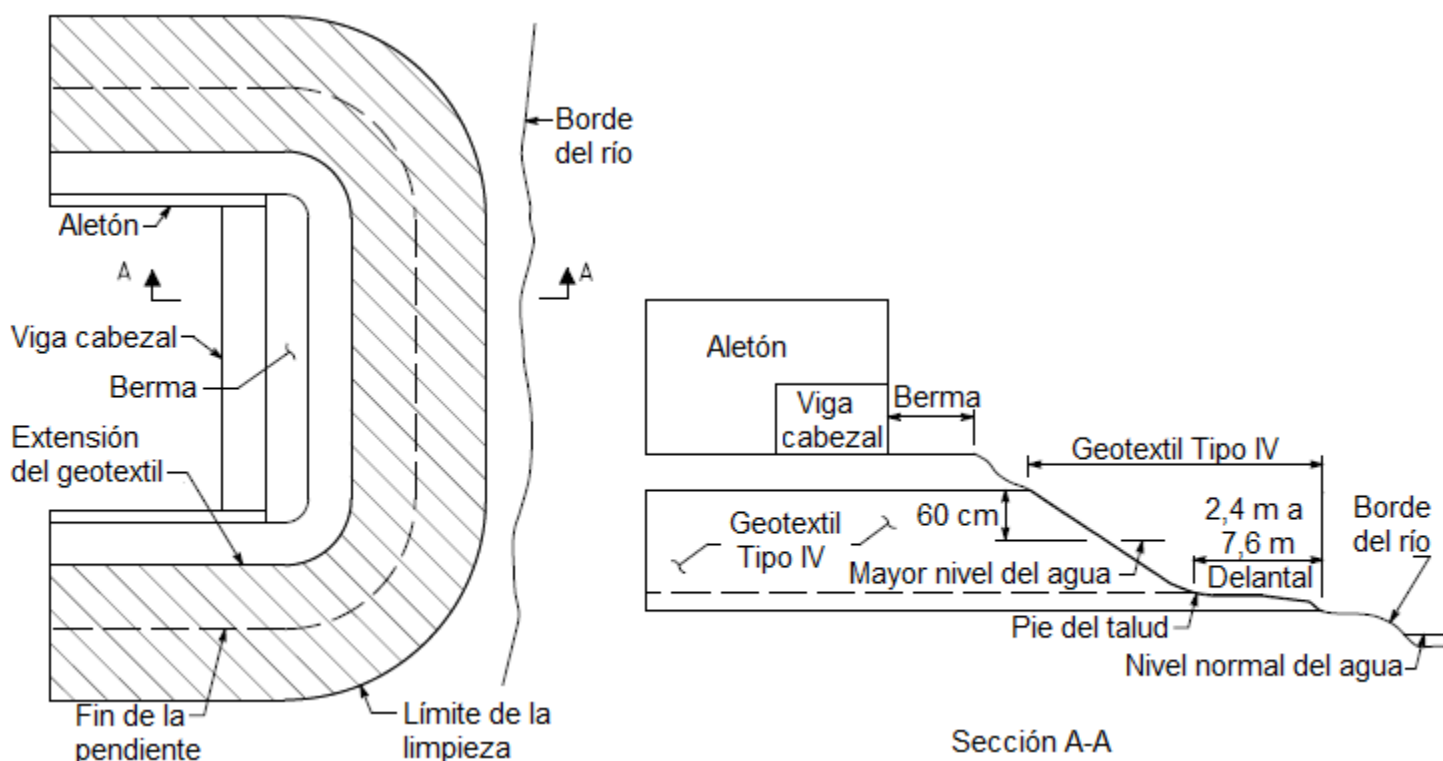
### Paso 1

1. Para colocar el geotextil no es necesario remover la capa superior del suelo o la materia vegetal. Sin embargo, si se deben remover todos los escombros, objetos puntiagudos, rocas grandes, árboles, troncos, entre otros, que puedan dañar o romper el geotextil. La superficie del terreno para colocar el geotextil debe ser lisa y uniforme, y se recomienda que la pendiente del talud donde se va a colocar el geotextil y posteriormente el enrocado, no sea mayor a una relación 1:2 (vertical:horizontal).

2. Colocar el geotextil de forma que, los extremos y los lados de los paños adyacentes, se traslapen como mínimo 30 cm, sino se deben coser las uniones del geotextil de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Se deben usar pines para mantener en sitio los paños de geotextil, el espaciamiento de dichos pines a lo largo de los traslapes debe ser de 1 m de centro a centro. Es importante mencionar de que en caso que se rompa el geotextil, se puede remover y reemplazar (con el mismo tipo de geotextil) la parte dañada, traslapando el nuevo geotextil al menos 1 metro más allá de la zona afectada.

3. También se debe mencionar que el geotextil se debe colocar en toda la altura del talud y sino como mínimo 60 cm por encima del mayor nivel del agua (nivel del agua durante las crecidas). Además, en el pie del talud se debe colocar un delantal de geotextil con una extensión mínima de 2,4 m y máxima de 7,6 m. El geotextil no se debe extender más allá del borde del río.





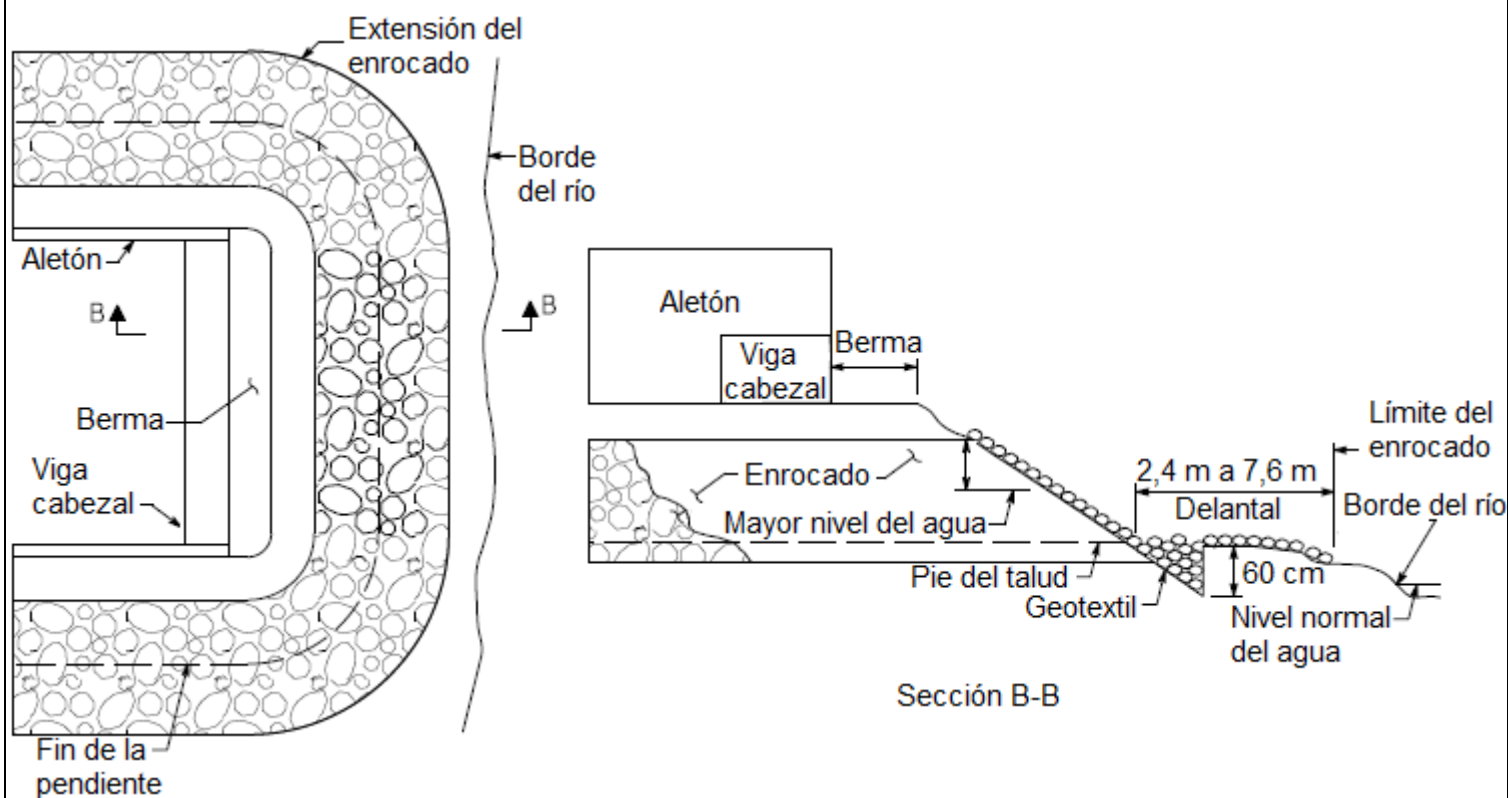
**Figura 95. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2

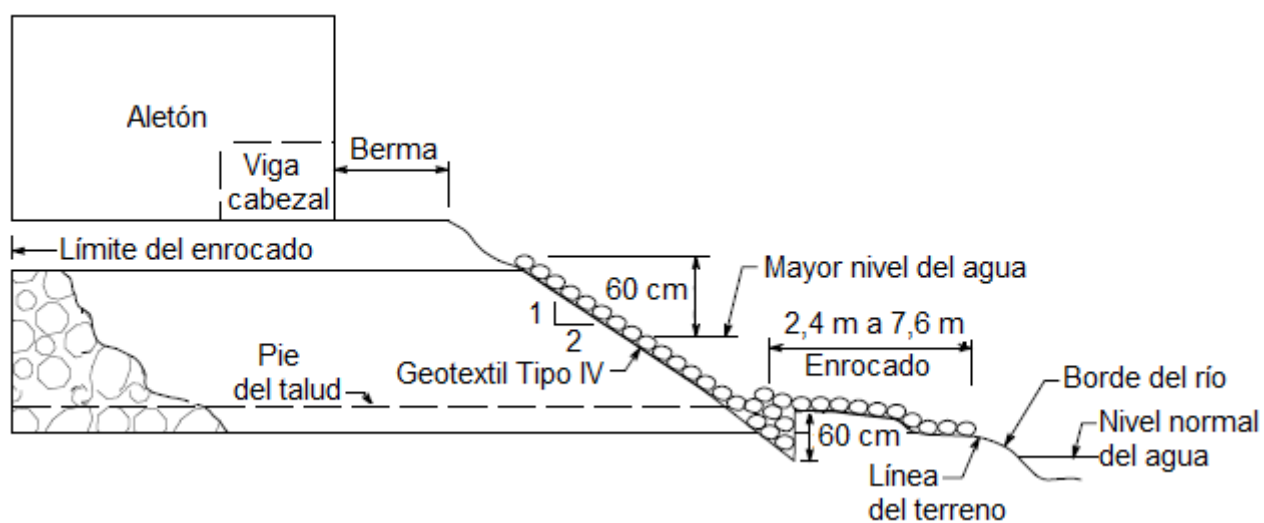
1. Se deben colocar las rocas sobre toda la extensión del geotextil, evitando dañarlo. En el caso del talud las rocas se deben colocar desde abajo hacia arriba. El grosor del enrocado debe ser de por lo menos 30 cm.
2. Las rocas individuales se deben acomodar utilizando métodos manuales o mecánicos con el fin de obtener una cubierta densa y uniforme, con una superficie razonablemente lisa. El enrocado no se debe extender más allá del borde del río.
3. En caso de que el talud tenga una pendiente muy pronunciada, se puede realizar una excavación en el pie del talud con una profundidad de 60 cm (tal y como se observa en la siguiente figura), para facilitar el acomodo de las rocas
4. En caso de tratarse de un enrocado con mortero, las rocas se deben humeder con agua exhaustivamente, lavando el exceso de finos existentes de la parte inferior del enrocado. El mortero se debe colocar de forma que se evite su segregación y todos los vacíos se deben llenar sin mover o desplazar las rocas. No se debe colocar más de 1,5 m en cada capa de enrocado con mortero y se debe curar durante 3 días antes de continuar con la siguiente capa de enrocado con mortero. Es importante mencionar que se deben dejar "lloraderas" en el enrocado para permitir el drenaje del agua. Cuando se haya concluido de colocar el mortero, este se debe curar durante 3 días y se debe proteger de las temperaturas altas extremas durante por lo menos 7 días después de concluida la colocación.

5. Por último, se debe limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 96. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 97. Enrocado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).





**Figura 98. Enrocado (escolleras).**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D12 Reparación de elementos faltantes o ausencia de barandas**

Definición: hace referencia a la pérdida parcial o total de elementos en barandas de acero o de concreto.

Posibles causas de la falta de elementos o ausencia de barandas

- Impacto de vehículos en la baranda.
- Robos.
- No se colocó.

Posibles consecuencias de la falta de elementos o ausencia de barandas

- Es un peligro para los usuarios del puente (peatones y vehículos), ya que, al no existir esta protección, pueden caer al vacío.

En la siguiente imagen, se puede observar el faltante de elementos en una baranda de concreto.





**Figura 99. Faltante de baranda de concreto.**  
Fuente: MOPT (2007).



**Figura 100. Faltante de baranda de concreto.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D12-MP-B1 Reparación de baranda de concreto**

Objetivo: reconstruir la baranda para reestablecer su funcionalidad y asegurar un tránsito seguro para los usuarios.

Criterio: de acuerdo con la calificación del grado de daño asignada mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT en una inspección visual de campo, este procedimiento es aplicable para cualquier grado de faltante o ausencia de barandas.

### Notas generales

1. No llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas o cuando la temperatura del aire sea mayor a 32 °C.
2. No se debe soldar el acero de refuerzo.
3. A la hora de la demolición, se debe tener la precaución de no dañar la armadura.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

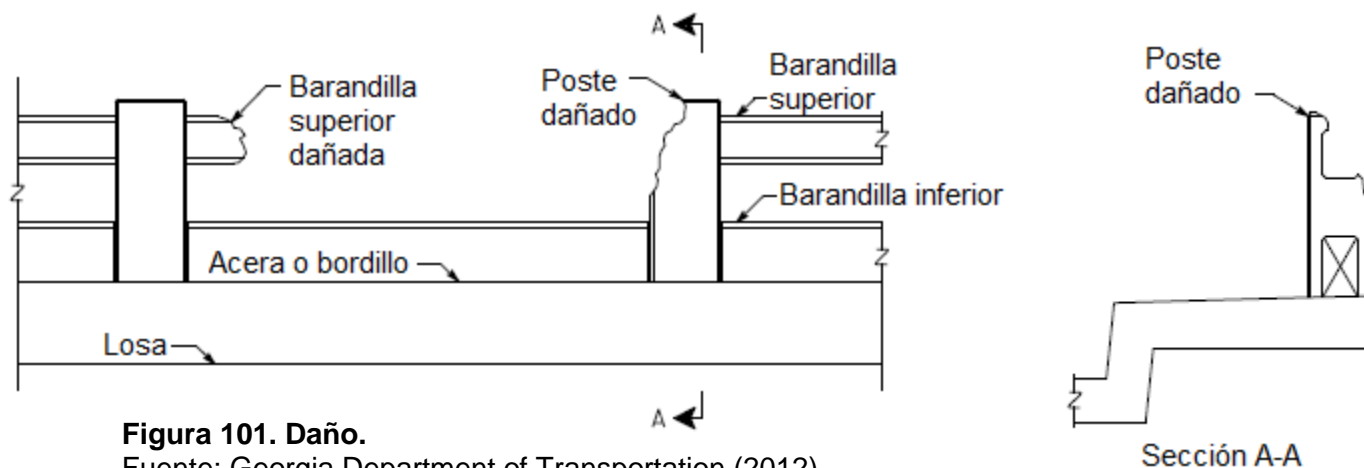
- Concreto de alta resistencia inicial, con una resistencia a la compresión mínima de  $310 \text{ kg/cm}^2$ : los materiales, el diseño de mezcla, entrega, colocación, el vibrado, curado y acabado de las superficies del concreto deben ser de acuerdo con la Sección 552 del CR-2010.
- Resina epóxica para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido: según el MCV-2015 debe ser Tipo V según la normativa AASHTO M235 (ASTM C 881).
- Acero de refuerzo: en caso de requerir, debe ser Grado 60,  $f_y$ :  $4200 \text{ kg/cm}^2$  y cumplir con la norma ASTM A615/A615M o ASTM A706/A706M, además, con la Sección 554 del CR-2010. Añadido a esto, se debe incluir alambre negro.
- Madera para formaleta: el encofrado debe cumplir con la Subsección 725.27 del CR-2010.
- Barandillas prefabricadas con las mismas dimensiones a las existentes (también se pueden colar en sitio).

### Herramientas

- Compresor de aire
- Generador portátil
- Equipo de chorro de arena (*sandblaster*)
- Batidora de concreto
- Sierra de corte de concreto con disco diamantado
- Tiza
- Esmeril angular
- Sierra para madera
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Martillo demoledor
- Vibrador
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, palas, pico, escobas, escobillas, carretillo, llaneta, entre otros.
- Herramienta para formaleta: clavos, martillos, entre otros.

Especificaciones: Sección 603: reparación parcial o reposición total de barandas de puentes, Sección 608: reparación de concreto con corrosión en acero de refuerzo de puentes, del MCV-2015 y la Actividad 815.01 – Brush Curb Post Repair del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.





**Figura 101. Daño.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Definir y demarcar con tiza el área de la baranda que se debe remover (debe removerse todo el concreto dañado). Para identificar el concreto dañado se puede golpear con un martillo la superficie de concreto, el concreto sano producirá un sonido metálico, agudo y vibrante, mientras que el del dañado será sordo y hueco.

2. Colocar un soporte de madera para la barandilla superior (ver detalle en la siguiente figura).

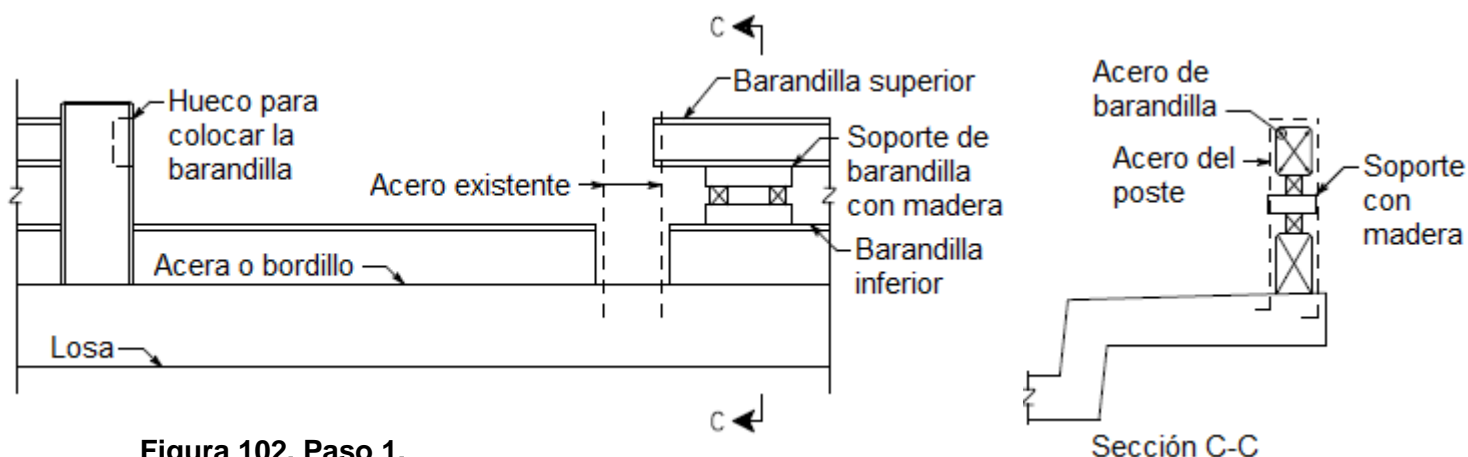
3. Demoler, utilizando un martillo demoledor o herramientas manuales, todo el concreto del área demarcada. Se debe tener la precaución de no dañar el acero de refuerzo.

4. Utilizando chorro de arena, se debe eliminar todo el óxido y concreto viejo presente en las varillas de refuerzo. Además, se deben remover las partículas sueltas de la superficie del área demolida que puedan afectar la adherencia del concreto nuevo. Es importante mencionar que la salida del chorro debe ser perpendicular con respecto a la superficie de aplicación y se debe mover constantemente en círculos, para distribuir uniformemente el chorro y mejorar la remoción de residuos.

5. Se deben eliminar las varillas que se encuentren dañadas o que presenten una pérdida de más del 25 % de su sección transversal (debido a la corrosión). Se deben fijar, con alambre negro, nuevas varillas de acero alineadas con las existentes, asegurándose de dejar una adecuada longitud de traslape ( $l_{ar}$ ). Esta longitud de traslape se debe calcular de acuerdo con el Apéndice 2, del presente Manual. Las varillas deben ser del mismo diámetro y tanto las nuevas como las existentes se deben proteger con algún inhibidor de corrosión de acuerdo con la Subsección 554.07 Acero de refuerzo con recubrimiento epóxico, del CR-2010.

Se pretende que este paso se haga únicamente para el poste de la baranda, sin embargo, también es posible colocar el acero de la barandilla para colocarla en sitio.

6. Utilizar aire comprimido para eliminar el polvo, suciedad y los escombros de concreto suelto.

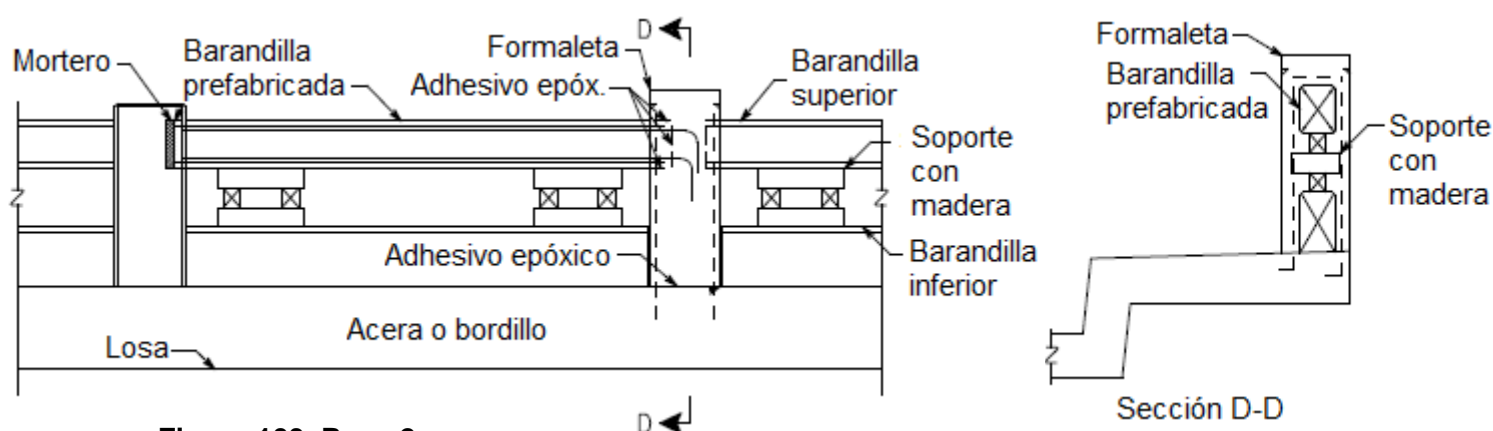


**Figura 102. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2

1. Colocar soportes de madera para instalar la nueva barandilla superior prefabricada.
2. Colocar la nueva barandilla y anclar el acero al poste. La longitud de anclaje ( $l_{ag}$ ) se debe calcular de acuerdo con el Anexo 2 de este Manual. Esta barandilla también se puede colar in situ, simplemente se debe colocar el acero alineado con el existente, respetando las longitudes de anclaje y el mismo diámetro de varilla.
3. Colocar la formaleta, asegurándose de que la posición final del poste sea vertical y que tenga la misma geometría que los existentes.
4. Siguiendo las instrucciones del fabricante, aplicar resina epóxica a la superficie de concreto existente (la superficie debe estar limpia, sana y firme) para mejorar la adherencia entre el concreto fresco y el concreto endurecido.

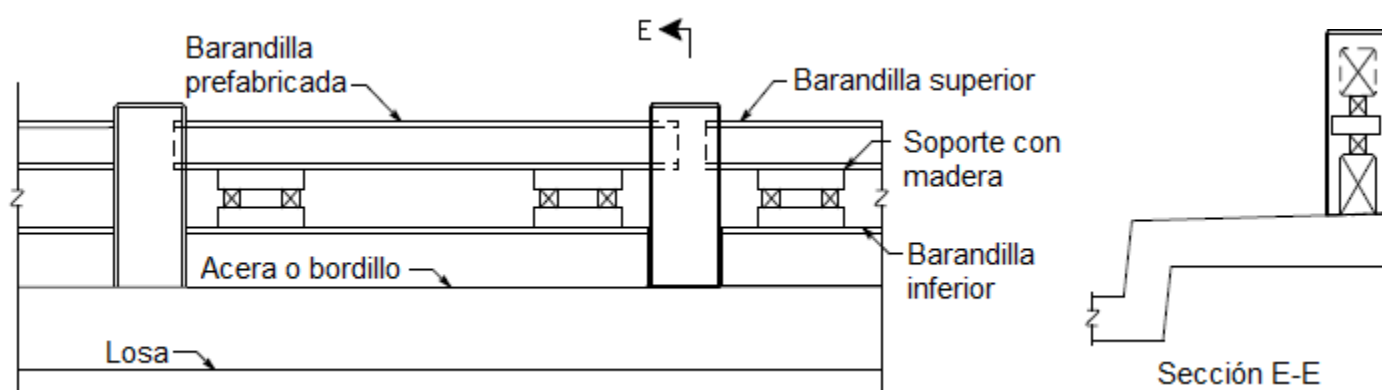


**Figura 103. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

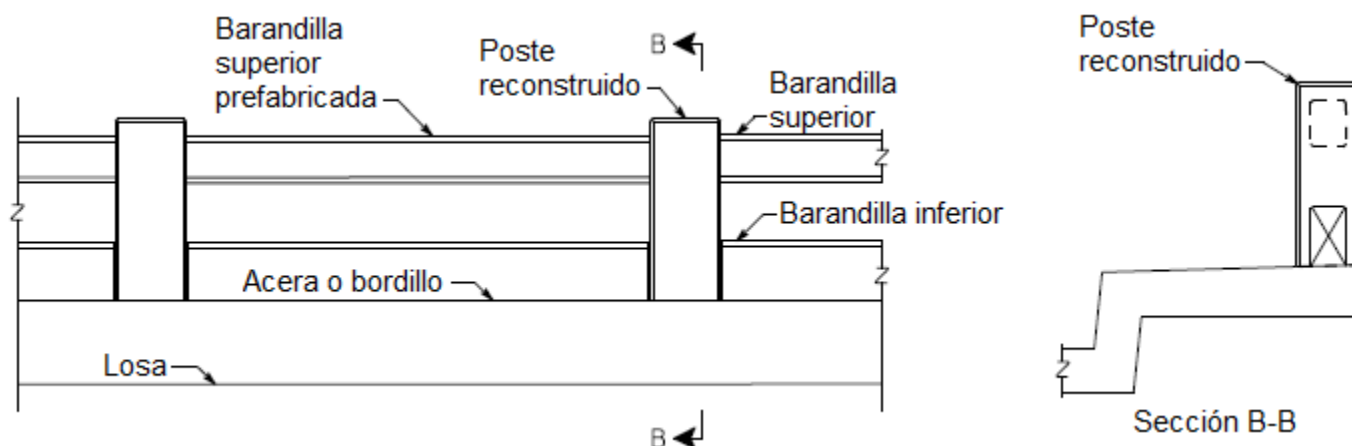
### Paso 3

1. Chorroar el concreto de relleno justamente después de colocar la resina epóxica (siguiendo las instrucciones del fabricante). Es importante mencionar que la temperatura de la mezcla se debe mantener entre 10 °C y 30 °C. Posteriormente, se debe compactar mediante vibradores de inmersión.
2. Nivelar la superficie superior del poste de la baranda con una llaneta.
3. Siguiendo las recomendaciones del fabricante, curar adecuadamente el concreto y remover la formaleta.
4. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 104. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 105. Daño reparado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## **D12-MP-B2 Notas generales en caso de ausencia de barandas**

Objetivo: proveer al puente de barandas para brindar seguridad a los usuarios de la estructura.

Criterio: este procedimiento es aplicable en caso de ausencia de barandas en el puente. Se deben revisar las especificaciones del “Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial”.

Especificaciones: manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial y su anexo “Manual SCV. Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras”.

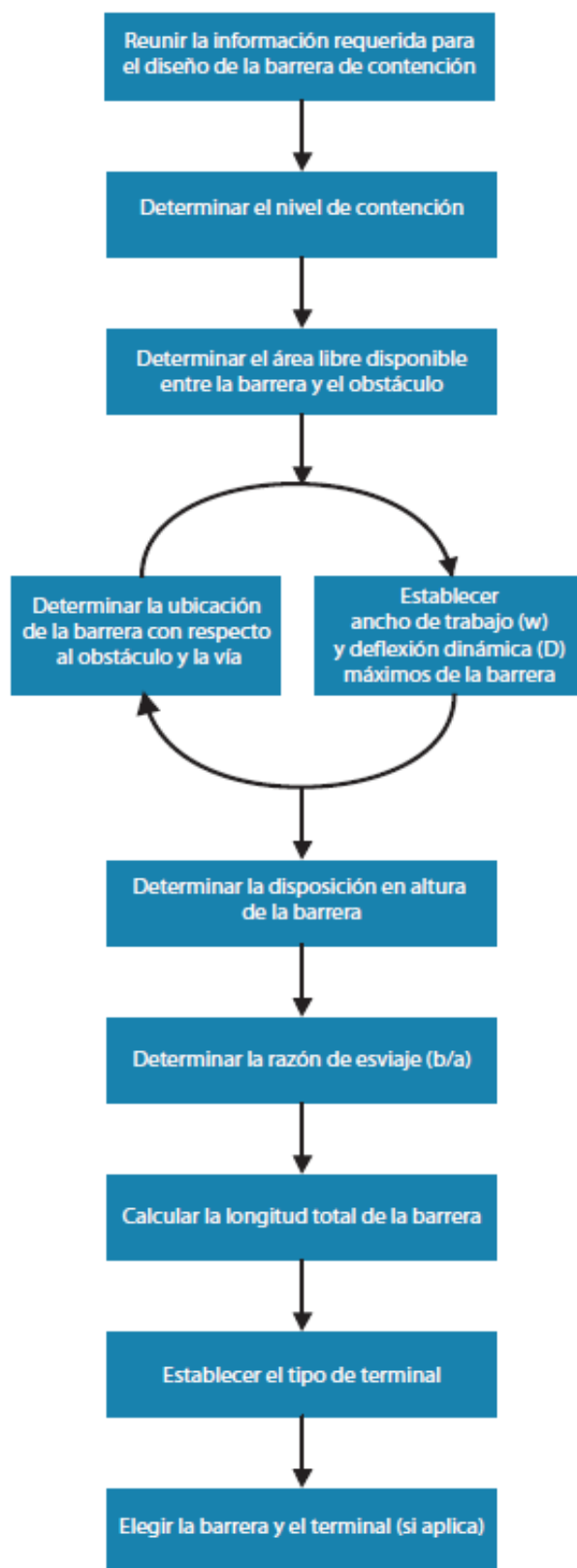
### Notas generales

Mediante el Decreto Ejecutivo: 37347, el cual entra en vigor el 10 de octubre del 2012, se oficializa el uso del Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial, que se encuentra disponible en la página del COSEVI ([www.csv.go.cr](http://www.csv.go.cr)). Según la (Presidencia de la República y el MOPT, 2012), este manual está dirigido a todos aquellos profesionales responsables de la planificación, diseño, construcción, gestión y administración de las vías, tanto urbanas como rurales y pretende ser una guía que ayude abordar los problemas de seguridad vial.

Este manual incluye el análisis y diseño de las márgenes de las carreteras. Por lo tanto, contiene información acerca de la manera correcta para la selección y disposición de las barandas (barreras de seguridad). Según el Decreto 37347, se deben acatar los lineamientos de este manual para la selección y disposición de las barandas.

Según Valverde (2013), se debe mencionar que en el caso de barandas que serán instaladas en puentes, siempre debe instalarse una baranda tipo “pretil de puente”, diseñada y ensayada especialmente para este tipo de aplicación.

A continuación, se muestra un resumen del procedimiento general para el diseño de una baranda para un puente (pretil de puente).



**Figura 106. Procedimiento general de diseño de una barrera de seguridad.**  
Fuente: Valverde (2013).

Según Valverde (2013), la información requerida para poder llevar a cabo el diseño es:

- Registro y análisis de la concentración de accidentes de tránsito.
- TPD y volumen de ciclistas y peatones.
- Velocidad de diseño de la vía.
- Características geométricas de la vía.
- Información topográfica de los márgenes de la carretera: longitudes transversales y pendientes del terreno.
- Características de los peligros y su ubicación detallada.
- Ubicación y descripción de los lugares y elementos que pueden representar una dificultad para ejecutar un posible tratamiento, como elementos del sistema de drenaje, servicios públicos, entre otros.
- Condición de la estructura de pavimento.
- Ubicación de los sitios donde la visibilidad y la distancia de visibilidad de parada son restringidas.

Como se puede observar en la Figura 106, luego de reunir esta información, se debe seleccionar el nivel de contención. Caídas desde la plataforma de un puente se clasifica como un accidente muy grave, por lo tanto, únicamente se muestran los niveles de contención para este tipo de accidente. Además, tal como se puede ver en el siguiente cuadro, la selección del nivel de contención para pretil de puente también depende de la velocidad de diseño y del TPD.

**Cuadro 4. Nivel de contención.**

Accidente	Velocidad	TPD	TPD <sub>p</sub>	Nivel de contención
Muy grave	>60	>2000	>2000	H4b, TL5, TL6
Muy grave	>60	>2000	500 < TPD <sub>p</sub> < 2000	H3
Muy grave	>60	>2000	<500	H2
Muy grave	>60	<2000	-	H1, TL3, TL4

Fuente: Valverde (2013).

El tipo de terminal que se recomienda para una barrera de seguridad es empotrada en un talud. Siempre que las condiciones del sitio lo permitan, debe utilizarse este tipo de terminal para los extremos de las barreras de seguridad.

La barrera de seguridad se debe colocar lateralmente con una separación mínima de 0,50 m del borde de la calzada y las separaciones máximas recomendadas se pueden encontrar en el siguiente cuadro.

**Cuadro 5 Distancias máximas recomendadas entre el borde de la vía y la barrera de seguridad.**

Velocidad de diseño (Km/h)	Distancia máxima (m)		
	Número de carriles por sentido		
	1	2	3
50	2,5	0,5	0,5
60	2,5	0,5	0,5
70	6,0	2,5	0,5
80	6,0	2,5	0,5
90	11,0	7,5	4,0
100	11,0	7,5	4,0
110	16,5	13,0	10,0

Fuente: Valverde (2013).

Añadido a esto, también se debe considerar la disposición en altura (depende del fabricante), y la longitud de la barrera (depende de la longitud del puente).



## **D14 Reparación de la deformación en baranda y viga principal de acero**

Definición: es el cambio con respecto al tamaño, forma o posición original, ya sea de la baranda acero o de la viga principal de acero.

Posibles causas de la deformación en barandas y viga principal de acero

### Barandas

- Impacto de vehículos.
- Falla de la conexión entre la baranda y el sistema de piso.
- Dilatación térmica.

### Viga principal de acero

- Asentamiento de la subestructura.
- Sobrecarga.
- Colisión de vehículos.
- Impacto de troncos y rocas en crecidas del río.
- Insuficiente arriostramiento.

Posibles consecuencias de la deformación en barandas y viga principal de acero

### Barandas

- Es importante que no exista deformación porque disminuye la resistencia del elemento para soportar el impacto de los vehículos.

### Viga principal de acero

- Puede afectar la resistencia del elemento.

En el caso de las vigas principales de acero, la reparación de este daño requiere un análisis estructural para conocer la afectación de dicha deformación en el funcionamiento de la estructura. Además, su reparación implica complejos procedimientos de rehabilitación que no se incluyen en el alcance de este manual.

En el caso de las barandas de acero, también se requiere un análisis estructural para determinar si la baranda aún conserva la capacidad de absorber la energía de un impacto. Si a partir de este análisis o a partir del criterio del ingeniero inspector se determina que se requiere una sustitución de la baranda, esto se debe hacer de acuerdo con las especificaciones del “Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial”. Un resumen del procedimiento se encuentra en D12-MP-B2 Notas generales en caso de ausencia de barandas, sin embargo, esto no exime la necesidad de revisar las especificaciones del manual mencionado.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar la deformación en barandas y en la viga principal de acero.



**Figura 107. Deformación en barandas y viga principal de acero.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D15 Reparación del agrietamiento en las barandas de concreto**

Definición: se refiere a las grietas que se generan en las barandas de concreto.

Posibles causas del agrietamiento de las barandas de concreto

- Impacto de vehículos.
- Sismos.
- Contracción y expansión, debido a cambios de temperatura y humedad.

Posibles consecuencias agrietamiento de las barandas de concreto

- Filtración de agua u otras sustancias a través de las grietas, afectando el acero de refuerzo. Este se oxida y si no se trata se corroe afectando la capacidad del elemento. Es importante que la resistencia de las barandas esté intacta, ya que debe soportar el golpe de vehículos y evitar que estos caigan al vacío.
- Afectan la vida útil del elemento.

Para la reparación de este daño, se recomienda utilizar el procedimiento D09-MP-T1 Reparación de grietas en una dirección mediante la inyección de resinas epóxicas a presión.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar el agrietamiento de las barandas de concreto.





**Figura 108. Agrietamiento en barandas de concreto.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D16 Reparación del descascaramiento de la pintura**

Definición: la pintura es uno de los principales medios para proteger los elementos de acero contra la oxidación y corrosión. Este daño se da cuando la pintura se desprende del elemento de acero.

### **Posibles causas**

- Mala calidad de la pintura.
- Pintado inadecuado del elemento.
- Es común verlo cerca de las juntas por la filtración de agua.
- Si no se remueve la oxidación antes de pintar ocurre el descascaramiento de la misma.
- Impactos en crecidas del río, por vehículos, vandalismo, durante el proceso constructivo, entre otros.

### **Posibles consecuencias**

- Los elementos de acero pierden su protección superficial por lo que con el tiempo puede empezar el proceso de oxidación y posteriormente el de corrosión.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se puede observar el descascaramiento de la pintura en elementos de acero.





**Figura 109. Descascaramiento de la pintura en elementos de acero.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D16-MR-T1 Pintado de superficies que mantienen la pintura parcialmente en buen estado**

Objetivo: eliminar el óxido, suciedad, vegetación, entre otros, de los elementos de acero y recuperar un estado óptimo de la pintura para prevenir la corrosión y extender el periodo de vida útil del acero.

Criterio: este procedimiento se debe aplicar como mínimo cada 12 años. Sin embargo, también es aplicable después de que el daño haya sido observado en una inspección visual de campo, es decir, cuando se califique, de acuerdo con el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, con un grado descascaramiento de la pintura de 3 o menor, lo que significa que todavía el descascaramiento no es considerable (la mayor parte de la pintura se encuentra en buen estado).

Este procedimiento también es aplicable en caso de oxidación o corrosión (grado 4 o menor) siempre y cuando la mayor parte de la pintura se encuentre en buen estado y que no se haya perdido más de un 20 % de la sección transversal del elemento debido a la corrosión. En caso que la estructura de acero no se haya pintado anteriormente o que la mayor parte de la pintura se encuentre en mal estado (grado 4 o mayor de descascaramiento) se recomienda aplicar el procedimiento D06-MR-T1 Detención del proceso de corrosión mediante la limpieza y aplicación de pintura anticorrosiva en superficies nuevas o con toda la pintura existente removida.

### Notas generales

1. Previo a aplicar este procedimiento, se requieren 14 días para verificar la compatibilidad entre la pintura nueva con la existente.
2. Según el CR-2010, para pintar los elementos de acero, se debe cumplir con las recomendaciones de la guía 3 (SSPC) SSPC-PA “Guía de Seguridad de la Aplicación de Pintura” y con los requisitos de la OSHA.
3. Antes de empezar, se debe comprobar que la superficie de acero se encuentra en un rango de temperatura entre 10 y 40 °C. Añadido a esto, se debe comprobar que la humedad es del 85 % o menor, exceptuando que el fabricante del producto lo especifique de otra manera.
4. En caso de que el área afectada sea de difícil acceso, le corresponde al ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área dañada, esto se puede hacer mediante escaleras, andamios, vehículo de inspección, entre otros.
5. Este procedimiento no se debe llevar a cabo bajo condiciones lluviosas.
6. Este procedimiento se puede aplicar en cualquier parte de los elementos de acero.
7. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

### Especificaciones de los materiales

- Solventes para limpieza: deben ser los especificados por la norma SSPC-SP 1.
- Pintura anticorrosiva: según el sistema de pintura seleccionado, se deben seguir las normas respectivas de la Subsección 708.05 Pintura para estructuras de acero, del CR-2010.

Los sistemas de pintura dependen del tipo de ambiente al que estarán expuestos los elementos de acero. En el siguiente cuadro, se pueden observar los sistemas de pintura estipulados por el CR-2010.



**Cuadro 6.** Sistemas de recubrimiento para hierro y acero estructural en superficies con pintura existente en buen estado.

Capa	Sistema de pintura <sup>(1)</sup>		
	6	7	8
	<b>Ambientes agresivos (Sal)</b>	<b>Ambientes menos agresivos (Sin sal)</b>	<b>Ambientes menos agresivos (Sin sal)</b>
<b>Base</b>	Uretano curado-húmedo 50-75 µm seco	Alcalino VOC bajo 50-75 µm seco	Sellador epóxico de baja viscosidad 25-50µm seco
<b>Intermedia</b>	Uretano curado-húmedo 50-75 µm seco	Alcalino VOC bajo 50-75 µm seco	Epóxico 75-100 µm seco
<b>Superior</b>	Uretano curado-húmedo ó uretano alifático 50-75 µm seco	Silicón-alkalino VOC bajo 50-75 µm seco	Uretano alifático 50-75 µm seco
<b>Espesor total</b>	150-225 µm seco	150-225 µm seco	50-225 µm seco

(1) El sistema 6 es para protección del hierro y acero en ambientes corrosivos agresivos como los siguientes: marino, industrial, de alta humedad y estructuras expuestas a sales. Los sistemas 7 y 8 son para el uso en aquellos entornos libres de altas concentraciones de sales o de contaminantes que originan los ambientes de corrosión agresivos.

Fuente: MOPT (2010).

#### Herramientas

- Equipo para chorro de agua a presión
- Cepillos, lijas o lijadora electromecánica o equipo de chorro de arena (*sandblaster*), de acuerdo con el método de limpieza seleccionado
- Lijadora electromecánica
- Generador portátil
- Brochas (redondeadas o planas con un ancho menor a 12 cm), rodillos (solo se pueden utilizar en superficies planas) o rociadores de pintura sin aire o convencionales con filtros para excluir el aceite o agua del aire comprimido (el aire comprimido debe cumplir la norma ASTM D 4285).
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillos, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 563.) Pintura, del CR-2010.

## **Paso 1**

1. Se debe verificar la compatibilidad de la nueva pintura con la existente, 14 días antes de aplicar este procedimiento. Para esto, se debe seleccionar un área de prueba representativa de la condición del elemento, de por lo menos 3 m<sup>2</sup>. Luego se debe preparar la superficie (ver paso 2) para aplicar el sistema de pintura propuesto a la capa superior y a la base existente, para observar si en los siguientes 14 días surgen levantamientos, sangrado, ampollas, arrugas, agrietamiento u alguna otra forma de incompatibilidad. Añadido a esto, se deben ejecutar pruebas de adherencia de acuerdo con lo estipulado en la norma ASTM D 3359, método A. En caso de que las pruebas de adherencia no den resultados satisfactorios o que surjan evidencias de incompatibilidad se debe seleccionar otro tipo de pintura.

## **Paso 2**

1. Inicialmente, se deben lavar todas las superficies de acero a ser intervenidas con agua a presión, eliminando todo el óxido suelto, escamas, suciedad, insectos, vegetación, escombros, pintura que no esté bien adherida, aceites o alguna otra sustancia líquida. La presión del agua se debe mantener en 3,5 MPa.

2. Posteriormente, se debe limpiar todo el óxido, suciedad, escamas u otros restantes, inclusive de áreas pequeñas, de acuerdo con la norma SSPC-SP 2 (Limpieza con herramientas manuales), SSPC-SP 3 (Limpieza con herramientas mecánicas) o SSPC-SP 6 (Limpieza con chorro de arena comercial para remover la suciedad, herrumbre suelto o pintura que no está firmemente adherida a la superficie subyacente). Además, se deben pulir los bordes de la pintura existente con el fin de obtener una superficie lo suficientemente lisa para aplicar la pintura.

3. Se debe remover toda la suciedad, polvo y otros desechos, producto de la limpieza seleccionada, utilizando solventes de acuerdo con la norma SSPC-SP 1.

4. Proteger las superficies adyacentes que no serán pintadas con lonas, telas o algún medio adecuado. En caso de que las superficies se contaminen antes de pintar, se debe repetir la limpieza con solventes.

5. Aplicar la primera capa de pintura con brocha, rodillo o rociador, a las superficies que no cuentan con pintura existente siguiendo las especificaciones del fabricante. Luego, se deben aplicar las capas restantes de pintura uniformemente a toda la superficie de acero (siguiendo las especificaciones de fabricante). Es importante mencionar que se debe medir y ajustar el espesor de cada capa húmeda durante la aplicación, para que después de curar cada capa, se logre obtener el espesor de pintura deseado. En caso de que, alguna capa después de curada no alcance el espesor deseado, se debe volver a pintar hasta alcanzar dicho espesor. Se debe considerar que las capas sucesivas de pintura deben ser de diferente color para evitar dejar áreas sin pintar.

6. Limpiar el área de trabajo y trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados.



**Figura 110. Daño antes y después de la reparación de la pintura.**  
Fuente: Federal Highway Administration (2018).



**Figura 111. Recuperación de la pintura en elementos de acero.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D00 Reparación de apoyos**

La función de los apoyos es transmitir las cargas de la superestructura a la subestructura y, en caso de sismo, permitir los grados de libertad necesarios para el adecuado funcionamiento del puente.

De acuerdo con las inspecciones visuales de campo llevadas a cabo por el Programa de Evaluación de Estructuras Puentes del TEC, los apoyos son los elementos mejor evaluados de la subestructura, sin embargo, la realidad actual es totalmente distinta. Esta situación se da porque el Manual de Inspección de Puentes del MOPT no permite una evaluación adecuada de los apoyos y por esta razón, no se encontraron entre los daños más comunes. Los daños que se encuentran frecuentemente son oxidación, corrosión, sedimentos cubriendo los apoyos y el agrietamiento o aplastamiento de los apoyos de neopreno. Sin embargo, los daños que se evalúan son: desplazamiento, inclinación, deformación y rotura de pernos de los apoyos. Por este motivo, es importante que se actualice la forma de evaluar los apoyos en el Manual de Inspección de Puentes y añadido a esto, se debe actualizar el SAEP para que se puedan registrar los daños mencionados anteriormente.

Tomando en cuenta lo mencionado anteriormente, se decide incluir en este manual el procedimiento para la “Sustitución de los dispositivos de apoyo mediante el uso de gatos hidráulicos”.

A continuación, se mencionan algunas posibles causas y consecuencias de los daños en los apoyos.

### **Posibles causas de daños en los apoyos**

- Mantenimiento inexistente.
- Deterioro o mala calidad de los materiales.
- Filtración de agua a través de las juntas.
- Oxidación o corrosión.
- Presencia de suciedad, escombros, insectos, vegetación, entre otros.
- Sismos.

### **Posibles consecuencias de daños en los apoyos**

- El fallo de los apoyos puede provocar que el puente colapse parcial o totalmente.
- Se dificulta el funcionamiento adecuado de los apoyos.

En las siguientes imágenes, proporcionadas por el PEEP, se pueden observar apoyos deteriorados que requieren ser reemplazados.





**Figura 112. Apoyos deteriorados.**  
Fuente: PEEP (2018).

## **D00-MP-A1 Sustitución de los dispositivos de apoyo mediante el uso de gatos hidráulicos**

Objetivo: sustituir los dispositivos de apoyo para preservar el comportamiento estructural de los elementos y prevenir daños mayores.

Criterio: este procedimiento se debe programar periódicamente, después de que se haya detectado, durante una inspección visual de campo, el deterioro completo de algún apoyo o que no permite los movimientos para los cuales fue concebido (rotación, traslación o ambas). También, en caso de que mediante el Manual de Inspección de Puentes del MOPT, se califiquen con un grado 5, los daños “deformación del apoyo” o “inclinación del apoyo”.

### Notas generales

1. Es responsabilidad del ingeniero encargado definir la mejor manera para lograr intervenir el área de los apoyos. Se debe proveer una plataforma segura y cómoda para llevar a cabo los trabajos de sustitución de los dispositivos de apoyo. En caso de necesitar anclar elementos a la estructura, a la hora de terminar el trabajo, estos deben ser retirados y los respectivos daños deben ser reparados.
2. Según la Sección 564 Accesorios de Apoyo del CR-2010 o su versión vigente, la reparación se debe llevar a cabo preferiblemente en horario nocturno para no interferir con el tránsito vehicular.
3. No se debe llevar a cabo la reparación en condiciones lluviosas.
4. Verificar todas las dimensiones antes de solicitar los materiales para la reparación.

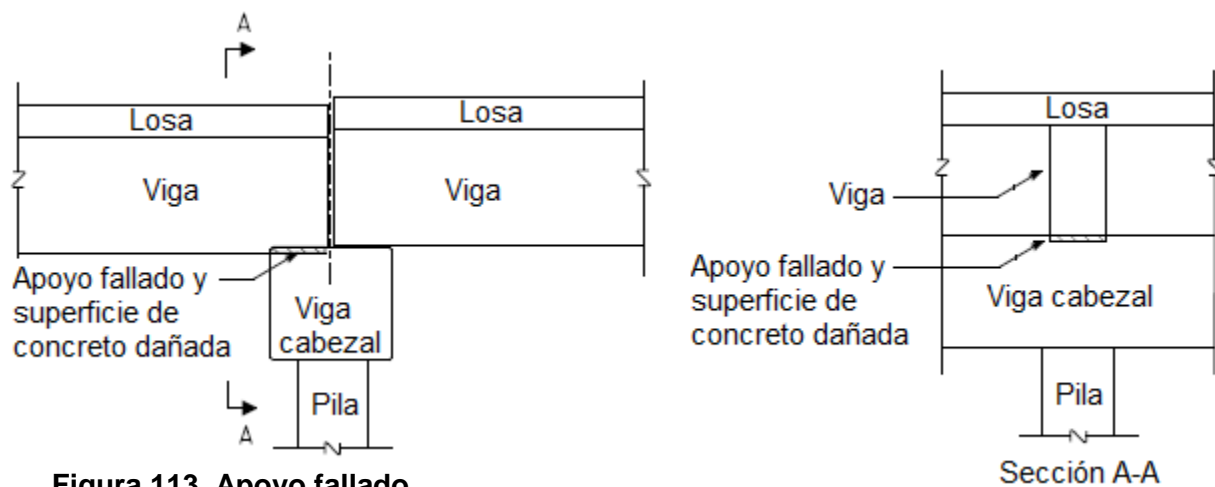
### Especificaciones de los materiales

- Dispositivos de apoyo: se deben adquirir e instalar los nuevos dispositivos de apoyo de acuerdo con la Sección 564 Accesorios de apoyo del CR-2010.
- Mortero de alta resistencia inicial: en caso de que sea necesario para reparar o nivelar alguna parte de la base de los apoyos. Debe cumplir con lo mencionado en la Subsección 725.22 Mortero del CR-2010.

### Herramientas

- Compresor de aire
- Esmeril angular
- Generador portátil
- Equipo para chorro de arena, chorro de agua o pulidora (lijadora)
- Gatos hidráulicos (deben contar con una capacidad mínima de un 50 % mayor de la carga que van a levantar)
- Batidora de concreto
- Cubetas para elaborar la mezcla
- Herramientas manuales que se consideren necesarias, tales como: cincel, martillo, palas, pico, escobas, escobillas, cepillo de cerdas de acero, carretillo, llaneta, entre otros.

Especificaciones: Sección 610: mantenimiento o reemplazo de dispositivos de apoyo de puentes, del MCV-2015 y la Actividad 830.23 – Bearing Failure Repair Under RCDG) del Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation Repair Manual, de Georgia.



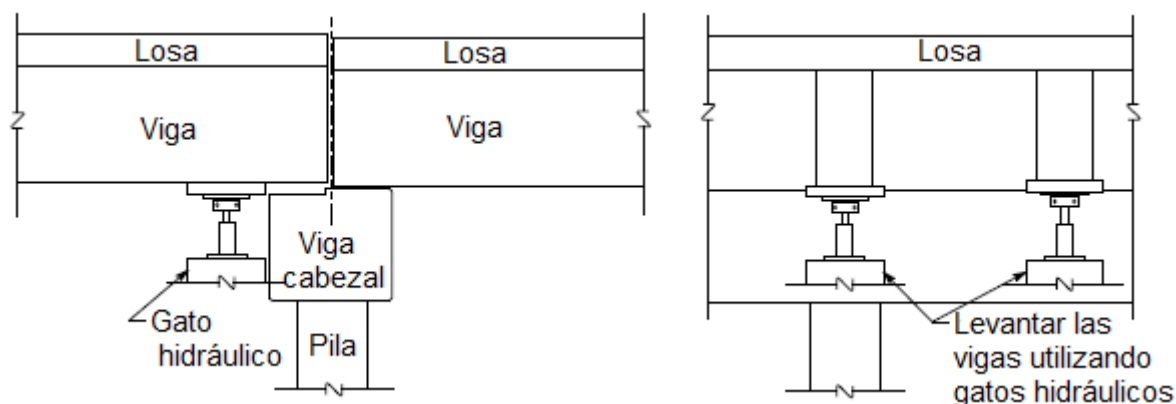
**Figura 113. Apoyo fallado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

### Paso 1

1. Inicialmente, se debe limpiar la zona de los apoyos y eliminar toda la suciedad y escombros presentes en el área a intervenir. Esto se puede hacer mediante el uso de herramientas manuales, aire comprimido o chorro de agua a alta presión.
2. Se debe instalar un gato hidráulico en los extremos de todas las vigas (un eje transversal de apoyo), lo más cerca posible del dispositivo de apoyo. Si no exista una base para apoyar el gato hidráulico, se debe proveer una que tenga la suficiente resistencia para transmitir la carga de las vigas y la losa.
3. Cerrar totalmente el paso del tráfico y proceder con las maniobras de levantamiento del tablero del puente. Los gatos hidráulicos deben levantar de forma uniforme, simultánea, lenta y gradual los extremos de todas las vigas (un eje transversal de apoyo). Se debe levantar hasta conseguir liberar de toda carga a los dispositivos de apoyo y proveer una holgura de por lo menos 5 mm. Es decir, las vigas se deben levantar como mínimo 5 mm sobre los apoyos. Es importante mencionar, que en el momento que se liberen los apoyos de las cargas, se deben colocar apoyos temporales como tacos de madera, apoyos de neopreno temporales o platinas de acero.
4. Realizar el retiro de los dispositivos de apoyo deteriorados, mediante el uso del esmeril angular y las herramientas manuales. En caso de que dichos apoyos se encuentren fijados a las bases, en la instalación de los nuevos dispositivos se debe proveer otro mecanismo de fijación como el uso de adhesivos epóxicos.
5. Remover todo el concreto suelto, suciedad y escombros del área de apoyo.
6. Enrasar y pulir a los niveles necesarios las bases donde se colocarán los nuevos dispositivos de apoyo. Se debe garantizar su perfecta horizontalidad mediante el uso de un nivel para asegurar un asiento uniforme de los nuevos dispositivos y por ende, del tablero.





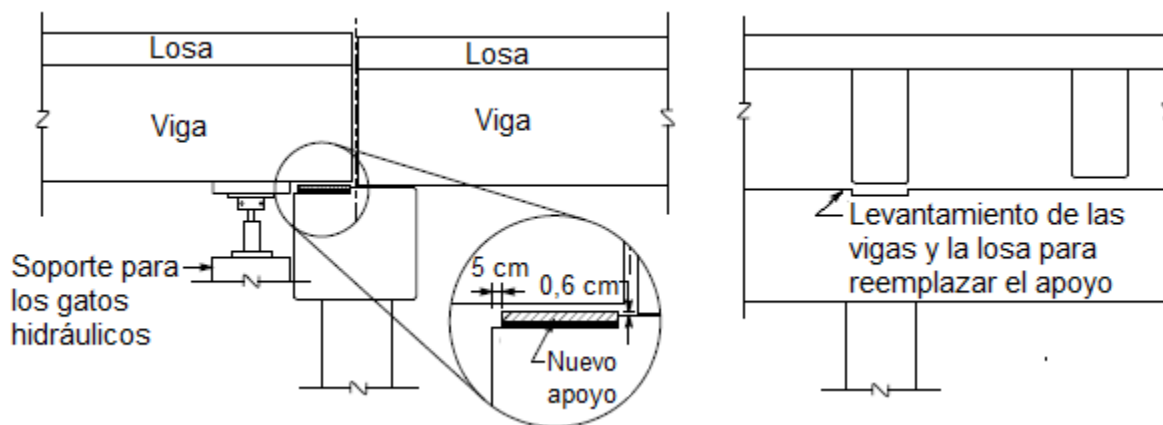
**Figura 114. Paso 1.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

## Paso 2

1. Colocar los nuevos dispositivos de apoyo. En caso de que los apoyos anteriores hayan estado fijados a las bases, en la instalación de los nuevos dispositivos se debe proveer otro mecanismo de fijación como el uso de adhesivos epóxicos. Además, los nuevos dispositivos se deben instalar a una distancia mínima de 5 cm de los bordes del área de apoyo y deben separar al menos 0,6 cm (6 mm) las vigas de la viga cabezal (ver detalle en la siguiente figura).

2. En la siguiente figura se observa el caso de un apoyo de neopreno. El grosor del neopreno debe ser al menos de 1,3 cm ( $\frac{1}{2}$ " ) y añadido a esto se deben colocar los platos de apoyo.

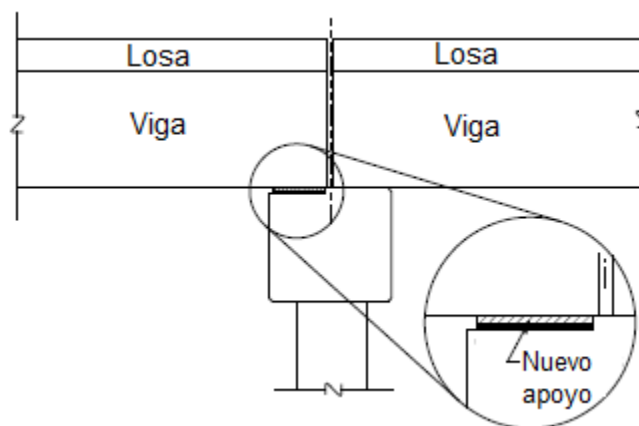


**Figura 115. Paso 2.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).

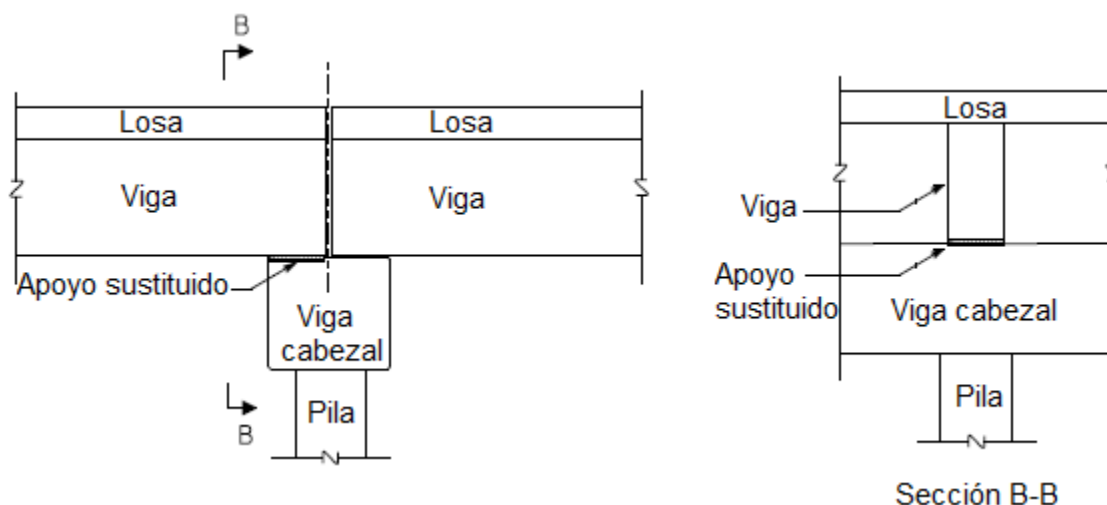
### Paso 3

1. Quitar los apoyos temporales y mediante el uso de los gatos hidráulicos, bajar de forma uniforme, simultánea, lenta y gradual los extremos de todas las vigas (un eje transversal de apoyo) para que se sienten en los nuevos dispositivos de apoyo.
2. Una vez se hayan sentado, se debe verificar que las losas adyacentes, ya sea, losa-losa o losa-losa de aproximación queden a la misma altura. En caso de que la diferencia entre las elevaciones sea mayor a 0,3 mm (1/8") se debe volver a levantar las vigas mediante el uso de los gatos hidráulicos (Paso 1) y corregir el error.
3. Por último, se deben quitar los gatos hidráulicos, limpiar el área de trabajo, trasladar los desechos a depósitos de excedentes autorizados y reabrir el tránsito vehicular.



**Figura 116. Paso 3.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 117. Daño reparado.**

Fuente: Georgia Department of Transportation (2012).



**Figura 118. Apoyo reemplazado o sustituido.**

Fuente: New York State Department of Transportation (2008).



**Figura 119. Apoyo reemplazado o sustituido.**

Fuente: JICA (2014).

## Bibliografía

- ACI 224R-01. (2001). *Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón*.
- ACI E706. (2010). *Instalación de ánodos galvánicos embebidos (ACI RAP Boletín 8S)*.
- Do Lago Helene, P. (1997). *Manual para la Reparación, Refuerzo y Protección de las estructuras de concreto*. Ciudad de México: © 2015, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. Obtenido de [http://www.imcyc.com/redcyc/imcyc/biblioteca\\_digital/MANUAL\\_DE\\_REPARACION\\_REFUERZO\\_Y\\_PROTECCION\\_DE\\_LAS\\_ESTRUCTURAS\\_DE\\_CONCRETO.pdf](http://www.imcyc.com/redcyc/imcyc/biblioteca_digital/MANUAL_DE_REPARACION_REFUERZO_Y_PROTECCION_DE_LAS_ESTRUCTURAS_DE_CONCRETO.pdf)
- Emmons, P. H. (1994). *Concrete Repair and Maintenance Illustrated*. Massachusetts: R.S. Means Company, Inc. Obtenido de <http://civil.emu.edu.tr/courses/civl586/Concrete%20Repair%20and%20Maintenance%20Illustrated,%20PH%20Emmons.pdf>
- Federal Highway Administration. (Agosto de 2011). *Maintaining a State of Good Repair Using Cost Effective Investment Strategies*. Obtenido de <https://transportation.ky.gov/Maintenance/Documents/AASHTO%20Presentations/Bridges%20Technical%20Working%20Group/Bridge%20Preservation%20Guide-5-12-2011.pdf>
- Federal Highway Administration. (2018). *Maintaining a Resilient Infrastructure to Preserve Mobility*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/bridge/preservation/guide/guide.pdf>
- Garita, C., Ortiz, G., & Mora-Mora, J. (2018). Análisis de requerimientos para un sistema de monitoreo de puentes. *Revista Tecnología en Marcha* ,31(4), pág. 63-72. Obtenido de [http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec\\_marcha/article/view/3965/3548](http://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/3965/3548)
- Georgia Department of Transportation. (29 de Junio de 2012). *Bridge Structure Maintenance and Rehabilitation, Repair Manual*.
- JICA. (2014). *Improvement of Quality Management for Highway and Bridge Construction and Maintenance, Phase II. Bridge Repair Manual (2da Edition)*.
- MOPT. (2007). *Lineamiento para Mantenimiento de Puentes*.
- MOPT. (Enero de 2007). *Manual de Inspección de Puentes*. Obtenido de [https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf-963e-8d8b31540a79/manual\\_inspeccion2007.pdf?MOD=AJPERES](https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/31625228-76c4-44cf-963e-8d8b31540a79/manual_inspeccion2007.pdf?MOD=AJPERES)
- MOPT. (2010). *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes (CR-2010)*. Obtenido de <https://www.mopt.go.cr/wps/wcm/connect/28a27ca9-2ec2-49ae-838c-6f89e21d43b4/CR-2010.pdf?MOD=AJPERES>
- MOPT. (2015). *MANUAL DE ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSERVACIÓN DE CAMINOS, CARRETERAS Y PUENTES (MCV-2015)*. Obtenido de

<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/847/Manual%20MCV-2015%20Oficial.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Muñoz, J., Agüero, P., Vargas, S., Villalobos, E., Vargas, L., Barrantes, R., & Loria, G. (Octubre de 2015). *Guía para la determinación de la condición de puentes en Costa Rica mediante inspección visual*. Obtenido de <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/626/Gu%C3%ADa%20para%20la%20determinaci%C3%B3n%20de%20la%20condici%C3%B3n%20en%20puentes%20mediante%20inspecci%C3%B3n%20visual.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

New York State Department of Transportation. (2008). *Fundamentals of Bridge Maintenance and Inspection*.

Presidencia de la República y el MOPT. (10 de Octubre de 2012). *Decreto Ejecutivo : 37347*. Obtenido de [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=73393&nValor3=90068&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=73393&nValor3=90068&strTipM=TC)

Programa de Evaluación de Estructuras de Puentes (PEEP). (2014-2018). Informes de inspección visual y de inventario. Cartago

Valverde, G. (Octubre de 2013). *Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial. Segunda Edición*. Obtenido de <https://www.csv.go.cr/documents/10179/20401/SEGURIDADVIAL+Manual+050314.pdf/4d181337-7fce-43bf-b412-8e8ee92eb2ae>

## Apéndices

### Apéndice 1. Código de los procedimientos.

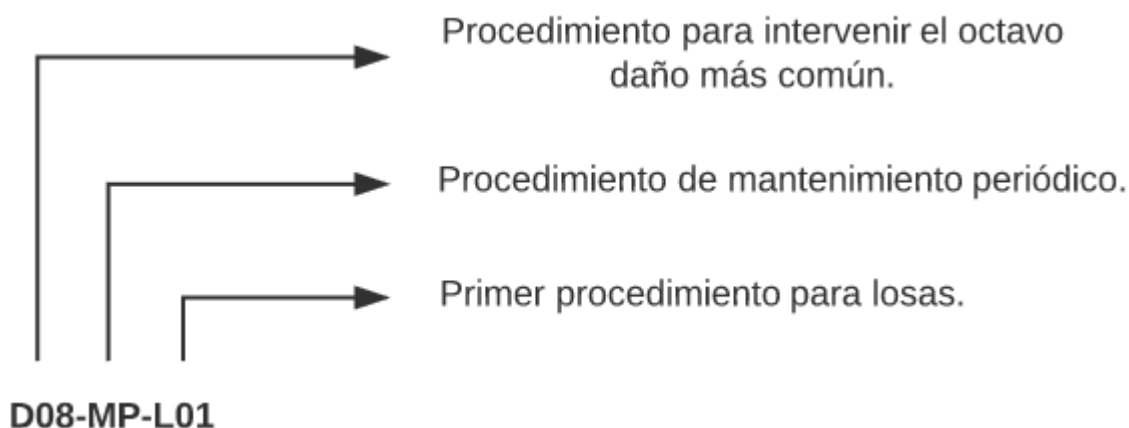
El código de los procedimientos hace referencia primeramente a la repetitividad del daño que intervienen, es decir, asocian los procedimientos al daño respectivo. Luego, se puede encontrar “MP” o “MR” que indica si se trata de un procedimiento de mantenimiento rutinario o mantenimiento periódico y por último, se indica para qué tipos de elementos es aplicable el procedimiento. En el siguiente cuadro se puede observar el símbolo que corresponde a cada elemento.

**Cuadro 1. Procedimientos aplicables para diferentes elementos de acuerdo con su símbolo.**

Símbolo	Procedimiento aplicable para:
L	Losas
V	Vigas
B	Barandas
P	Pilas y bastiones
A	Apoyos
J	Juntas
T	Todos los elementos del material respectivo

Fuente: elaboración propia.

En la siguiente figura se puede observar un ejemplo del significado de un código de un procedimiento.



**Figura 1. Código de los procedimientos.**

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. Cálculo de la longitud de anclaje del refuerzo longitudinal (Según la Sección 8.5 del CSCR-10)

Según el CSCR-10, la longitud de anclaje ( $l_{ag}$ ) para varillas #3 a #11, con un gancho estándar, no puede ser menor que 8 veces el diámetro de la varilla, 15 cm o la longitud indicada en la siguiente ecuación:

$$l_{ag} = \frac{f_y * d_b}{16\sqrt{f'c}} \text{ [cm]}$$

Donde:

$d_b$  = diámetro de la varilla en cm.

$f_y$  y  $f'c$  en  $kg/cm^2$ .

La **longitud de anclaje recto ( $l_{ar}$ )** para varillas #3 a #11, no debe ser menor que  $2,5 l_{ag}$ .

**Ejemplo:** calcular la longitud de traslape en una losa, suponiendo que se tiene una varilla #5.

En el caso de losas, el MCV-15 permite utilizar un concreto con una resistencia mínima de  $255 kg/cm^2$  (para el resto de los elementos de un puente la resistencia mínima es de  $310 kg/cm^2$ ). Para puentes el  $f_y$  del acero debe ser  $4200 kg/cm^2$ . Entonces:

Se calcula el  $l_{ag}$ :

- 15 cm
- $8 * (\frac{5}{8} * 2,54 \text{ cm}) = 12,7 \text{ cm}$
- $l_{ag} = \frac{4200 kg/cm^2 * 1,5875 \text{ cm}}{16\sqrt{255 kg/cm^2}} = 26,1 \text{ cm}$  (se toma el mayor valor)

Por último, se procede a calcular la longitud de anclaje recto:

$$l_{ar} = 2,5 (26,1 \text{ cm}) = 65,25 \text{ cm}$$

De esta forma, se obtiene que **el traslape de la varilla #5 debe ser de 65 cm**

### Referencia

Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. Cartago: editorial Tecnológica de Costa Rica.